

INERTIA FORCE SENSOR AND MANUFACTURE THEREOF

Publication number: JP8032090

Publication date: 1996-02-02

Inventor: TSUGAI MASAHIRO; HIRATA YOSHIKI

Applicant: MITSUBISHI ELECTRIC CORP

Classification:

- international: G01P15/125; B81B3/00; B81C1/00; H01L29/84; G01P15/125; B81B3/00; B81C1/00; H01L29/66; (IPC1-7): H01L29/84; G01P15/125

- european:

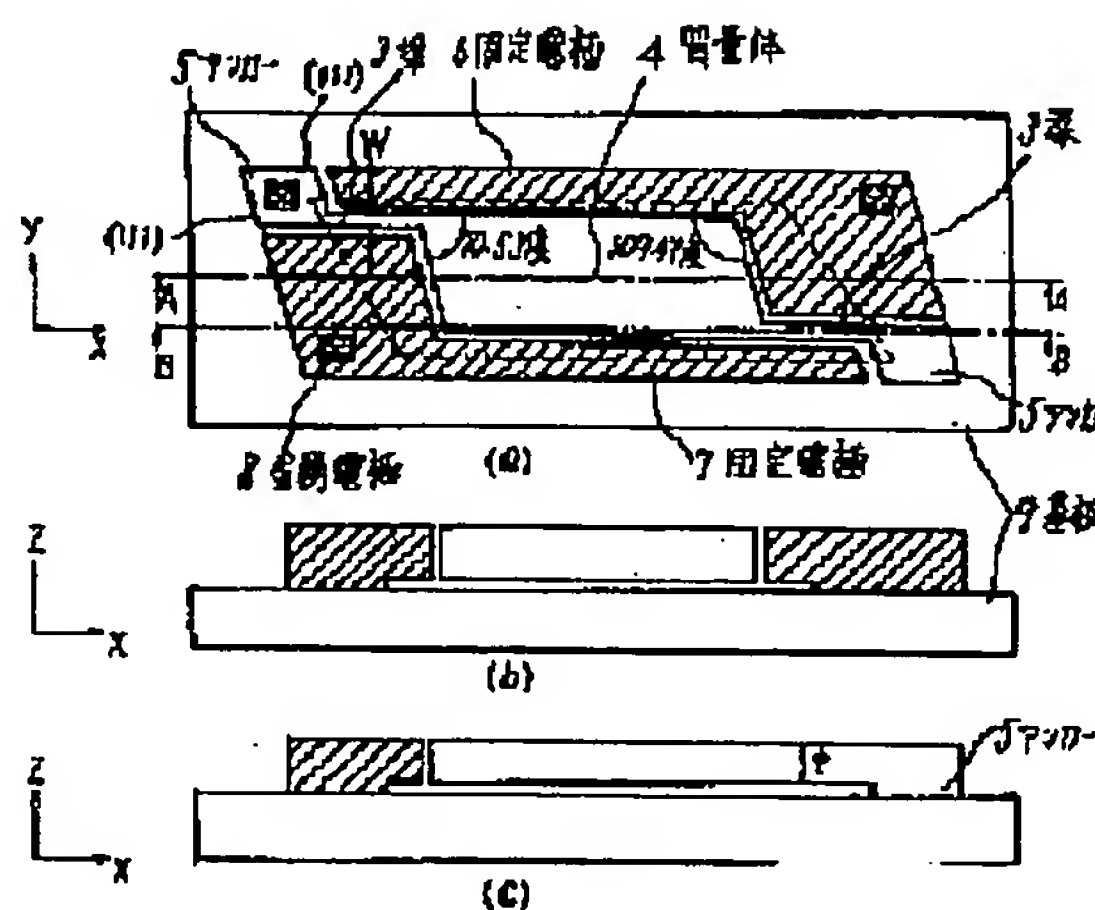
Application number: JP19940160171 19940712

Priority number(s): JP19940160171 19940712

Report a data error here

Abstract of JP8032090

PURPOSE: To lessen a residual strain, which is generated at the time of manufacture of an inertia force sensor, by a method wherein a substrate and a wafer having the face (110) are bonded together to form the substrate into a substrate constituted of two layers and the wafer is subjected to anisotropic etching to form a structure having vibrating bodies and fixed electrodes. **CONSTITUTION:** In a structure, a wafer, whose surface crystal face bonded on a substrate 9 via an insulating film is the face (110) and which consists of a single crystal silicon film, is subjected to anisotropic etching. Electrodes are respectively formed on the surfaces of vibrating bodies. Thereby, a mass body 4 constitutes a movable electrode, which can be displaced between fixed electrodes 6 and 7. The side crystal faces of the structure are respectively constituted of the faces (111) which are formed vertically to the surface crystal face (110) of the wafer. The metal electrodes 8, a metal electrode 8 and a metal electrode 8 are respectively formed on the surfaces of the vibrating bodies, the electrode 6 and the electrode 7. Beams 3 of the vibrating bodies and mass body 4 have a gap between the substrate 9 and them and anchors 5 are bonded on the substrate 9. Thereby, a residual strain, which is generated at the time of manufacture of an inertia force sensor, can be lessened.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平 8 - 3 2 0 9 0

(43)公開日 平成8年(1996)2月2日

(51)Int. Cl.⁶

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 0 1 L 29/84

Z

G 0 1 P 15/125

審査請求 未請求 請求項の数 3 2 O L

(全 2 1 頁)

(21)出願番号 特願平6-160171

(22)出願日 平成6年(1994)7月12日

(71)出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72)発明者 番 政広

尼崎市塚口本町8丁目1番1号 三菱電機株式会社産業システム研究所内

(72)発明者 平田 善明

尼崎市塚口本町8丁目1番1号 三菱電機株式会社産業システム研究所内

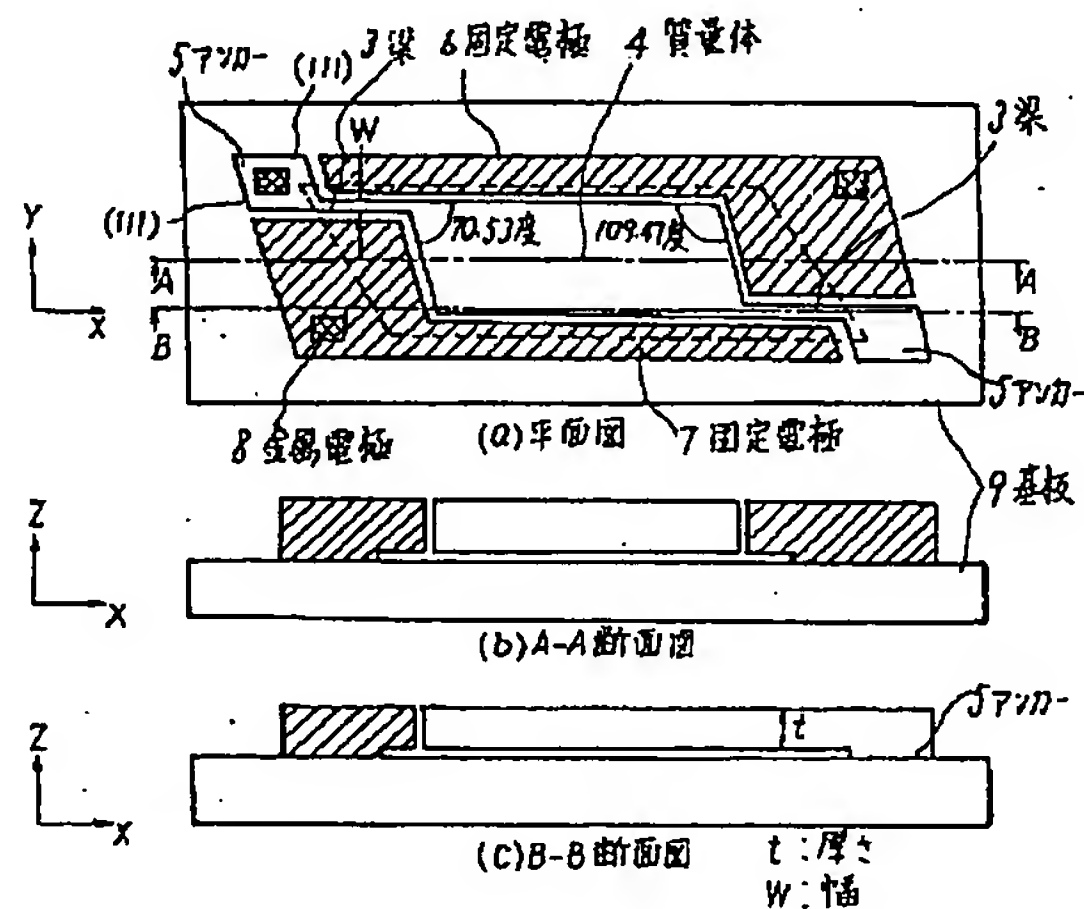
(74)代理人 弁理士 高田 守

(54)【発明の名称】 慣性力センサおよびその製造方法

(57)【要約】

【目的】 耐衝撃性に優れ、低価格、高感度、高信頼性の慣性力センサを得ること。

【構成】 質量体と梁とアンカーとが一体形成されたものからなる振動体と、2つの固定電極とを備えた構造体を同一ウエハから作り、2つの固定電極は質量体と梁とを挟み込み、かつ質量体と梁とは基板に対し空隙を有して位置し、かつアンカーと2つの固定電極とを基板に接合することにより、慣性力による質量体の変位を電気的に検出できるようにした。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板と、該基板に接合し、かつ (1 1 0) 面を有する単結晶シリコンからなるウエハを (1 1 1) 面方向に沿ってエッチングすることにより作られた構造体とを備え、該構造体は、前記基板に対し空隙を有して位置する質量体と、該質量体を支持し、かつ前記基板に対し空隙を有して位置する梁と、該梁を支持し、かつ前記基板に接合するアンカーとを備えた振動体、および前記質量体の側面に位置する固定電極を備え、前記質量体を可動電極とし、該可動電極の変位を電気的に検出

することを特徴とする慣性力センサ。

【請求項 2】 前記梁と前記質量体とは、前記ウエハ面内で 1 8 0 度の回転対称となるような形状をもたせたことを特徴とする請求項 1 に記載の慣性力センサ。

【請求項 3】 前記質量体は平行四辺形の形状を有する請求項 1 または 2 に記載の慣性力センサ。

【請求項 4】 前記質量体は平行四辺形の形状を有し、前記梁の一端は該平行四辺形の鋭角側に位置することを特徴とする請求項 3 に記載の慣性力センサ。

【請求項 5】 前記質量体の振動方向の前記梁の寸法は、他の方向の該梁の寸法よりも小とすることにより、前記振動体が選択的に一方向のみに振動可能となる梁を有する請求項 1 から 4 のいずれかに記載の慣性力センサ。

【請求項 6】 前記質量体の振動特性を調節するためのダンピング調節機構を備えた請求項 1 から 5 のいずれかに記載の慣性力センサ。

【請求項 7】 前記質量体の少なくとも一辺を櫛形にし、かつ櫛形にした部分に向かい合う櫛形のダンピング調節機構を備えた請求項 6 に記載の慣性力センサ。

【請求項 8】 前記質量体の少なくとも一辺を櫛形にし、かつ櫛形にした部分に向かい合う櫛形の固定電極を備えた請求項 1 から 7 のいずれかに記載の慣性力センサ。

【請求項 9】 前記質量体の変位を制限するストッパを備えた請求項 1 から 8 のいずれかに記載の慣性力センサ。

【請求項 1 0】 前記質量体の少なくとも一辺を櫛形にし、かつ櫛形にした部分に向かい合う櫛形のストッパを備えた請求項 9 に記載の慣性力センサ。

【請求項 1 1】 前記質量体の中央付近をくり抜いた形状を有する請求項 1 から 1 0 のいずれかに記載の慣性力センサ。

【請求項 1 2】 前記質量体に中央付近をくり抜いた形状をもたせ、かつ前記質量体の中空部分に前記梁と、前記アンカーとを設けた請求項 1 1 に記載の慣性力センサ。

【請求項 1 3】 前記質量体に中央付近をくり抜いた形状をもたせ、かつ前記質量体の中空部分、あるいは前記振動体の周囲にアクチュエート用電極を備えた請求項 1

から 1 2 のいずれかに記載の慣性力センサ。

【請求項 1 4】 前記構造体を作るための前記ウエハ上に、加速度を検出するための IC 化された検出回路を備えた請求項 1 から 1 3 のいずれかに記載の慣性力センサ。

【請求項 1 5】 前記検出回路を前記構造体の上に備えた請求項 1 から 1 3 のいずれかに記載の慣性力センサ。

【請求項 1 6】 前記構造体の周囲に補助支持部と、該補助支持部の上に前記構造体を密閉するための保護基板とを備えた請求項 1 から 1 5 のいずれかに記載の慣性力センサ。

【請求項 1 7】 検出方向が異なる少なくとも 2 つの前記慣性力センサを同一の前記基板上に組み込んだことを特徴とする請求項 1 から 1 6 のいずれかに記載の慣性力センサ。

【請求項 1 8】 下部固定電極を 2 つ備えた基板と、該基板に接合し、かつ (1 1 0) 面を有する単結晶シリコンからなるウエハを (1 1 1) 面方向に沿ってエッチングすることにより作られた構造体とを備え、該構造体は 2 つの前記下部固定電極の上方に空隙を有して位置する 2 つの質量体と、該質量体を支持し、かつ前記基板と空隙を有して位置する梁と、該梁を支持し、かつ前記基板に接合するアンカーとを有する振動体、前記質量体の外側に設けられた 2 つの固定電極、および 2 つの前記質量体の間に位置する駆動電極を備え、前記質量体を可動電極とし、該可動電極の変位を電気的に検出することを特徴とする慣性力センサ。

【請求項 1 9】 前記梁と前記質量体とは、前記ウエハ面内で 1 8 0 度の回転対称となるような形状をもたせたことを特徴とする請求項 1 8 に記載の慣性力センサ。

【請求項 2 0】 前記質量体は平行四辺形の形状を有する請求項 1 8 または 1 9 に記載の慣性力センサ。

【請求項 2 1】 前記質量体は平行四辺形の形状を有し、前記梁の一端は該平行四辺形の鋭角側に位置することを特徴とする請求項 2 0 に記載の慣性力センサ。

【請求項 2 2】 前記質量体の中央付近をくり抜いた形状を有する請求項 1 8 から 2 1 のいずれかに記載の慣性力センサ。

【請求項 2 3】 前記構造体を作るための前記ウエハ上に、角速度を検出するための IC 化された検出回路を備えた請求項 1 8 から 2 2 のいずれかに記載の慣性力センサ。

【請求項 2 4】 前記検出回路を前記構造体の上に備えた請求項 1 8 から 2 2 のいずれかに記載の慣性力センサ。

【請求項 2 5】 前記構造体の周囲に補助支持部と、該補助支持部の上に前記構造体を密閉するための保護基板とを備えた請求項 1 8 から 2 4 のいずれかに記載の慣性力センサ。

【請求項 2 6】 検出方向が異なる少なくとも 2 つの前

記慣性力センサを同一の前記基板上に組み込んだことを特徴とする請求項18から25のいずれかに記載の慣性力センサ。

【請求項27】 下記の(1)から(5)の工程を含むことを特徴とする慣性力センサの製造方法。

(1) 表面に第一の絶縁膜を堆積した基板と、表面に第二の絶縁膜を堆積した表面の結晶面が(110)面である単結晶シリコンからなるウエハとを前記第一の絶縁膜表面、または前記第二の絶縁膜表面にエッチング溝を形成した後、互いに絶縁膜を有する面が向かい合うように接合する工程

(2) 前記ウエハの前記第二の絶縁膜を有する面の背面を研磨する工程

(3) 前記ウエハの前記第二の絶縁膜を有する面の背面に第三の絶縁膜を堆積し、該第三の絶縁膜に希望するパターンを得るためにエッチングを用いて不要な前記第三の絶縁膜を除去した後、異方性エッチングを用いて前記ウエハの(111)面方向に沿って前記ウエハと前記第二の絶縁膜との境界までエッチングすることにより前記振動体と、前記固定電極とを備えた前記構造体を作る工程

(4) 前記工程(3)で前記ウエハをエッチングしたことにより露出した前記第二の絶縁膜をエッチングを用いて除去することにより前記質量体と、前記梁とを解放する工程

(5) 前記振動体と前記固定電極との上に金属電極を選択メタライズする工程

【請求項28】 下記の(1)から(4)の工程を含むことを特徴とする慣性力センサの製造方法。

(1) 表面に第一の絶縁膜を堆積した基板と、表面の結晶面が(110)面を有し、かつ少なくとも1つのエッチング溝を有し、該エッチング溝を有する面に第二の絶縁膜を堆積した単結晶シリコンからなるウエハとを互いに絶縁膜を有する面が向かい合うように接合する工程

(2) 前記ウエハの前記第二の絶縁膜を有する面の背面に第三の絶縁膜を堆積し、該第三の絶縁膜に希望するパターンを得るためにエッチングを用いて不要な前記第三の絶縁膜を除去した後、異方性エッチングを用いて前記ウエハの(111)面方向に沿って前記ウエハと前記第二の絶縁膜との境界までエッチングすることにより前記振動体と、前記固定電極とを備えた前記構造体を作る工程

(3) 前記工程(2)で前記ウエハをエッチングしたことにより露出した前記第二の絶縁膜をエッチングを用いて除去することにより前記質量体と、前記梁とを解放する工程

(4) 前記振動体と前記固定電極との上に金属電極を選択メタライズする工程

【請求項29】 下記の(1)から(3)の工程を含むことを特徴とする慣性力センサの製造方法。

(1) 基板と、表面の結晶面が(110)面であり、かつ少なくとも1つのエッチング溝を有する単結晶シリコンからなるウエハとを、該エッチング溝と、該基板とが向かい合うように接合する工程

(2) 前記ウエハの接合面の背面に絶縁膜を堆積し、該絶縁膜に希望するパターンを得るためにエッチングを用いて不要な該絶縁膜を除去した後、異方性エッチングを用いて前記ウエハの(111)面に沿ってエッチングすることにより前記振動体と、前記固定電極とを備えた前記構造体を作る工程

(3) 前記固定電極と前記振動体との上に金属電極を選択メタライズする工程

【請求項30】 下記の(1)から(5)の工程を含むことを特徴とする慣性力センサの製造方法。

(1) 表面に第一の絶縁膜を介し下部固定電極を取り付けた基板と、第二の絶縁膜を表面に堆積した表面の結晶面が(110)面である単結晶シリコンからなるウエハとを前記第二の絶縁膜表面にエッチング溝を形成した後、前記下部固定電極と、前記エッチング溝とが向かい合うように接合する工程

(2) 前記ウエハの前記第二の絶縁膜を有する面の背面を研磨する工程

(3) 前記ウエハの前記第二の絶縁膜を有する面の背面に第三の絶縁膜を堆積し、その面に希望するパターンを得るためにエッチングを用いて不要な該第三の絶縁膜を除去した後、異方性エッチングを用いて前記ウエハの(111)面方向に沿って前記ウエハと前記第二の絶縁膜との境界までエッチングすることにより前記振動体と、前記固定電極と、前記駆動電極とを備えた前記構造体を作る工程

(4) 前記工程(3)で前記ウエハをエッチングしたことにより露出した前記第二の絶縁膜をエッチングを用いてこれらを除去することにより前記質量体と前記梁とを解放する工程

(5) 前記振動体と、前記固定電極と、前記駆動電極との上に金属電極を選択メタライズする工程

【請求項31】 下記の(1)から(5)の工程を含むことを特徴とする慣性力センサの製造方法。

(1) 表面に第一の絶縁膜を介し下部固定電極を取り付けた基板と、表面の結晶面が(110)面を有し、かつ少なくとも1つのエッチング溝を有し、該エッチング溝を有する面に第二の絶縁膜を堆積した単結晶シリコンからなるウエハとを前記下部固定電極と、該エッチング溝とが向かい合うように接合する工程

(2) 前記ウエハの前記第二の絶縁膜を有する面の背面を研磨する工程

(3) 前記ウエハの前記第二の絶縁膜を有する面の背面に第三の絶縁膜を堆積し、その面に希望するパターンを得るためにエッチングを用いて不要な該第三の絶縁膜を除去した後、異方性エッチングを用いて前記ウエハの

(111) 面方向に沿って前記ウエハと前記第二の絶縁膜との境界までエッチングすることにより前記振動体と、前記固定電極と、前記駆動電極とを備えた前記構造体を作る工程

(4) 前記工程(3)で前記ウエハをエッチングしたことにより露出した前記第二の絶縁膜をエッチングを用いてこれら除去することにより前記質量体と、前記梁とを解放する工程

(5) 前記振動体と、前記固定電極と、前記駆動電極との上に金属電極を選択メタライズする工程

【請求項32】 下記の(1)から(4)の工程を含むことを特徴とする慣性力センサの製造方法。

(1) 表面に下部固定電極を取り付けた基板と、表面の結晶面が(110)面を有し、かつ少なくとも1つのエッチング溝を有する単結晶シリコンウエハとを該下部固定電極電極と、該エッチング溝とが向かい合うように接合する工程

(2) 前記ウエハの接合面の背面を研磨する工程

(3) 前記ウエハの接合面の背面に絶縁膜を堆積し、その面に希望するパターンを得るためにエッチングを用いて前記絶縁膜を除去した後、異方性エッチングを用いて前記ウエハの(111)面方向に沿って前記ウエハにエッチングすることにより前記振動体と、前記固定電極と、前記駆動電極とを備えた前記構造体を作る工程

(4) 前記振動体と、前記固定電極と、前記駆動電極との上に金属電極を選択メタライズする工程

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、振動計測や車両制御や運動制御などに利用される加速度、角速度などの慣性力を検出する慣性力センサ並びにその製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 運動する物体にかかる加速度または角速度などを検出する慣性力センサには、圧電式、歪ゲージ式、差動トランスを利用した磁気方式、およびコンデンサの容量変化を検出する容量式など各種のものがある。近年、特に半導体のマイクロマシニング技術を応用した慣性力センサとして、機械的外力により電気抵抗が変化するピエゾ抵抗効果を利用した加速度センサ、並びにコンデンサの容量の変化を検出することで加速度を算出する加速度センサ、および角速度センサが注目を集めている。これらは、装置の小型化、量産性、高精度化および高信頼性などの長所をもつ。特に、コンデンサの容量の変化から加速度を電氣的に検出する加速度センサについては、CAPASITIVE ACCELEROMETER WITH HIGHLY SYMMETRICAL DESIGN, SENSORS & ACTUATORS, A21-A23 (1990) 312-315に記載の技術であり、この技術について以下に図19を用

いて説明する。また、回転運動する物体の角速度をコンデンサの容量の変化から電氣的に検出する角速度センサとして特開昭62-93668号公報、米国特許4750364などがある。

【0003】 従来の技術を説明する。図19は、CAPASITIVE ACCELEROMETER WITH HIGHLY SYMMETRICAL DESIGN, SENSORS & ACTUATORS, A21-A23 (1990) 312-315に記載された加速度センサの平面図(図19(a))とG-Gでの断面図(図19(b))である。図19において、3は梁、4は質量体、6および7は固定電極、55は梁3と質量体4とを有するシリコン基板、56および57はガラス基板である。この加速度センサの構成および動作を説明する。この加速度センサは、エッチングにより空洞部を形成することによりできた梁3および質量体4からなるシリコン基板55、エッチングにより形成した溝の表面に固定電極6を取り付けたガラス基板56、並びにエッチングにより形成した溝の表面に固定電極7を取り付けたガラス基板57からなる。シリコン基板55の質量体4に電極を形成することにより固定電極6と質量体4、および固定電極7と質量体4とによりコンデンサを2つ形成している。シリコン基板55の梁3の厚さをその幅に対し適当に薄くすることにより、本加速度センサのシリコン基板55の質量体4はz軸方向の加速度を受けると上下方向に振動する。このとき、質量体4の変位によるコンデンサの静電容量の変化から加速度を算出する。

【0004】 また、この加速度センサは、エッチングにより空洞部を形成することによりできた梁3と、質量体4とを有するシリコン基板55と、エッチングにより形成した溝の表面に固定電極を取り付けたガラス基板56およびガラス基板57とをそれぞれ独立に製造した後、これら3つを接合するという製造工程をとっている。またシリコン基板55に梁3を形成する際、梁3を形成する部分にp型不純物による非常に高濃度なドーピングを行う。これにより、p型不純物によるドーピングを行った部分はエッチングレートが低下する。よって、梁3を形成する部分にp型不純物による非常に高濃度なドーピングを行った後エッチング処理を行うと梁3を形成する部分以外の部分にエッチングが進行することにより梁3が形成される。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】 上記の加速度センサは、加速度に起因した質量体4の変位により質量体4と固定電極6、および質量体4と固定電極7とがなすコンデンサの静電容量の変化を検出する方式をとっている。このため、ガラス基板56とガラス基板57とシリコン基板55とを張り合わせ接合する際に残留ひずみが生じるために電極間隔が設計値と異なることが問題である。また電極間隔が温度変化に応じて変動することにより加

速度センサの特性が変化することが問題である。

【0006】またシリコン基板55の梁3を製造する工程で梁3を形成する部分にp型不純物の非常に高濃度なドーピングを行うため完成されたシリコン基板55の梁3には、p型不純物による残留ひずみを生じる。このため梁3の剛性が高くなり、感度（1Gあたりの変位量：ただし、Gは重力加速度）が低下するといった問題がある。また、この残留ひずみの変動によりセンサの特性が変動し、長期信頼性の面で問題があった。

【0007】

【課題を解決するための手段】この発明は、あらかじめ基板とウエハとを接合したものから慣性力センサを構成する素子をエッチングを用いて作る技術（バルクマイクロマシニング技術）を利用して製造した慣性力センサに関するものである。請求項第1項記載の慣性力センサは、基板と、該基板に接合し、かつ（110）面を有する単結晶シリコンからなるウエハを（111）面方向に沿ってエッチングすることにより作られた構造体とを備え、該構造体は、前記基板に対し空隙を有して位置する質量体と、該質量体を支持し、かつ前記基板に対し空隙を有して位置する梁と、該梁を支持し、かつ前記基板に接合するアンカーとを有する振動体、および前記質量体の側面に固定電極を備えたものである。

【0008】請求項第2項に記載の慣性力センサは、梁と質量体とがなす形状を上記ウエハ面内で180度の回転対称となるような構造にしたものである。

【0009】請求項第3項に記載の慣性力センサは、質量体の形状を平行四辺形にしたものである。

【0010】請求項第4項に記載の慣性力センサは、質量体は平行四辺形の形状を有し、梁の一端は平行四辺形の質量体の鋭角側に位置する構造を有するものである。

【0011】請求項第5項に記載の慣性力センサは、質量体の振動方向に対する梁の寸法を他の方向の梁の寸法よりも小となるような構造にしたものである。

【0012】請求項第6項に記載の慣性力センサは、質量体の振動特性を調節するためのダンピング調節機構を設けたものである。

【0013】請求項第7項に記載の慣性力センサは、質量体の少なくとも一辺を楕形にし、かつ楕形にした部分に向かい合う楕形のダンピング調節機構を設けたものである。

【0014】請求項第8項に記載の慣性力センサは、質量体の少なくとも一辺を楕形にし、かつ楕形にした部分に向かい合う楕形の固定電極を設けたものである。

【0015】請求項第9項に記載の慣性力センサは、質量体の変位を制限するストッパを備えたものである。

【0016】請求項第10項に記載の慣性力センサは、質量体の少なくとも一辺を楕形にし、かつ楕形にした部分に向かい合う楕形のストッパを設けたものである。

【0017】請求項第11項に記載の慣性力センサは、

質量体の中央付近をくり抜いたものである。

【0018】請求項第12項に記載の慣性力センサは、中央付近をくり抜いた形状をもたせた質量体の中空部分に梁とアンカーとを設けた設けたものである。

【0019】請求項第13項に記載の慣性力センサは、中央付近をくり抜いた形状をもたせた質量体の中空部分、あるいは振動体の周囲にアクチュエート用電極を設けたものである。

【0020】請求項第14項に記載の慣性力センサは、構造体を作るための上記ウエハ上に加速度を検出するためのIC化された検出回路を設けたものである。

【0021】請求項第15項に記載の慣性力センサは、加速度を検出するためのIC化された検出回路を構造体上に設けたものである。

【0022】請求項第16項に記載の慣性力センサは、構造体の周囲に補助支持部と、該補助支部の上に構造体を密閉するための保護基板とを設けたものである。

【0023】請求項第17項に記載の慣性力センサは、検出方向が異なる少なくとも2つの慣性力センサを同一基板上に組み込んだものである。

【0024】請求項第18項に記載の慣性力センサは、下部固定電極を2つ備えた基板と、該基板に接合し、かつ（110）面を有する単結晶シリコンからなるウエハを（111）面方向に沿ってエッチングすることにより作られた構造体とを備え、該構造体は2つの前記下部固定電極の上方に空隙を有して位置する2つの質量体と、該質量体を支持し、かつ前記基板と空隙を有して位置する梁と、該梁を支持し、かつ前記基板に接合するアンカーとを有する振動体、前記質量体の外側に設けられた2つの固定電極、および2つの前記質量体の間に位置する駆動電極を備えたものである。

【0025】請求項第19項に記載の慣性力センサは、梁と質量体とがなす形状を上記ウエハ面内で180度の回転対称となるような構造にしたものである。

【0026】請求項第20項に記載の慣性力センサは、質量体の形状を平行四辺形にしたものである。

【0027】請求項第21項に記載の慣性力センサは、質量体は平行四辺形の形状を有し、梁の一端は平行四辺形の質量体の鋭角側に位置する構造を有するものである。

【0028】請求項第22項に記載の慣性力センサは、質量体の中央付近をくり抜いたものである。

【0029】請求項第23項に記載の慣性力センサは、構造体を作るための上記ウエハ上に角速度を検出するためのIC化された検出回路を設けたものである。

【0030】請求項第24項に記載の慣性力センサは、角速度を検出するためのIC化された検出回路を構造体上に設けたものである。

【0031】請求項第25項に記載の慣性力センサは、構造体の周囲に補助支持部と、該補助支部の上に構造体

を密閉するための保護基板とを設けたものである。

【0032】請求項第26項に記載の慣性力センサは、検出方向が異なる少なくとも2つの慣性力センサを同一基板上に組み込んだものである。

【0033】請求項第27項記載の慣性力センサの製造方法は下記の(1)から(5)の工程を含む。

(1) 表面に第一の絶縁膜を堆積した基板と、表面に第二の絶縁膜を堆積した表面の結晶面が(110)面である単結晶シリコンからなるウエハとを前記第一の絶縁膜表面、または前記第二の絶縁膜表面にエッチング溝を形成した後、互いに絶縁膜を有する面が向かい合うように接合する工程

(2) 前記ウエハの前記第二の絶縁膜を有する面の背面を研磨する工程

(3) 前記ウエハの前記第二の絶縁膜を有する面の背面に第三の絶縁膜を堆積し、該第三の絶縁膜に希望するパターンを得るためにエッチングを用いて不要な前記第三の絶縁膜を除去した後、異方性エッチングを用いて前記ウエハの(111)面方向に沿って前記ウエハと前記第二の絶縁膜との境界までエッチングすることにより前記振動体と、前記固定電極とを備えた前記構造体を作る工程

(4) 前記工程(3)で前記ウエハをエッチングしたことにより露出した前記第二の絶縁膜をエッチングを用いて除去することにより前記質量体と、前記梁とを解放する工程

(5) 前記振動体と前記固定電極との上に金属電極を選択メタライズする工程

【0034】請求項第28項記載の慣性力センサの製造方法は下記の(1)から(4)の工程を含む。

(1) 表面に第一の絶縁膜を堆積した基板と、表面の結晶面が(110)面を有し、かつ少なくとも1つのエッチング溝を有し、該エッチング溝を有する面に第二の絶縁膜を堆積した単結晶シリコンからなるウエハとを互いに絶縁膜を有する面が向かい合うように接合する工程

(2) 前記ウエハの前記第二の絶縁膜を有する面の背面に第三の絶縁膜を堆積し、該第三の絶縁膜に希望するパターンを得るためにエッチングを用いて不要な前記第三の絶縁膜を除去した後、異方性エッチングを用いて前記ウエハの(111)面方向に沿って前記ウエハと前記第二の絶縁膜との境界までエッチングすることにより前記振動体と、前記固定電極とを備えた前記構造体を作る工程

(3) 前記工程(2)で前記ウエハをエッチングしたことにより露出した前記第二の絶縁膜をエッチングを用いて除去することにより前記質量体と、前記梁とを解放する工程

(4) 前記振動体と前記固定電極との上に金属電極を選択メタライズする工程

【0035】請求項第29項記載の慣性力センサの製造

方法は下記の(1)から(3)の工程を含む。

(1) 基板と、表面の結晶面が(110)面であり、かつ少なくとも1つのエッチング溝を有する単結晶シリコンからなるウエハとを、該エッチング溝と、該基板とが向かい合うように接合する工程

(2) 前記ウエハの接合面の背面に絶縁膜を堆積し、該絶縁膜に希望するパターンを得るためにエッチングを用いて不要な該絶縁膜を除去した後、異方性エッチングを用いて前記ウエハの(111)面に沿ってエッチングすることにより前記振動体と、前記固定電極とを備えた前記構造体を作る工程

(3) 前記固定電極と前記振動体との上に金属電極を選択メタライズする工程

【0036】請求項第30項記載の慣性力センサの製造方法は下記の(1)から(5)の工程を含む。

(1) 表面に第一の絶縁膜を介し下部固定電極を取り付けた基板と、第二の絶縁膜を表面に堆積した表面の結晶面が(110)面である単結晶シリコンからなるウエハとを前記第二の絶縁膜表面にエッチング溝を形成した後、前記下部固定電極と、前記エッチング溝とが向かい合うように接合する工程

(2) 前記ウエハの前記第二の絶縁膜を有する面の背面を研磨する工程

(3) 前記ウエハの前記第二の絶縁膜を有する面の背面に第三の絶縁膜を堆積し、その面に希望するパターンを得るためにエッチングを用いて不要な該第三の絶縁膜を除去した後、異方性エッチングを用いて前記ウエハの(111)面方向に沿って前記ウエハと前記第二の絶縁膜との境界までエッチングすることにより前記振動体

と、前記固定電極と、前記駆動電極とを備えた前記構造体を作る工程

(4) 前記工程(3)で前記ウエハをエッチングしたことにより露出した前記第二の絶縁膜をエッチングを用いてこれらを除去することにより前記質量体と前記梁とを解放する工程

(5) 前記振動体と、前記固定電極と、前記駆動電極との上に金属電極を選択メタライズする工程

【0037】請求項第31項記載の慣性力センサの製造方法は下記の(1)から(5)の工程を含む。

(1) 表面に第一の絶縁膜を介し下部固定電極を取り付けた基板と、表面の結晶面が(110)面を有し、かつ少なくとも1つのエッチング溝を有し、該エッチング溝を有する面に第二の絶縁膜を堆積した単結晶シリコンからなるウエハとを前記下部固定電極と、該エッチング溝とが向かい合うように接合する工程

(2) 前記ウエハの前記第二の絶縁膜を有する面の背面を研磨する工程

(3) 前記ウエハの前記第二の絶縁膜を有する面の背面に第三の絶縁膜を堆積し、その面に希望するパターンを得るためにエッチングを用いて不要な該第三の絶縁膜

を除去した後、異方性エッチングを用いて前記ウエハの
(111)面方向に沿って前記ウエハと前記第二の絶縁
膜との境界までエッチングすることにより前記振動体
と、前記固定電極と、前記駆動電極とを備えた前記構造
体を作る工程

(4) 前記工程(3)で前記ウエハをエッチングした
ことにより露出した前記第二の絶縁膜をエッチングを用
いてこれらを除去することにより前記質量体と、前記梁
とを解放する工程

(5) 前記振動体と、前記固定電極と、前記駆動電極
との上に金属電極を選択メタライズする工程

【0038】請求項第32項記載の慣性力センサの製造
方法は下記の(1)から(4)の工程を含む。

(1) 表面に下部固定電極を取り付けた基板と、表面
の結晶面が(110)面を有し、かつ少なくとも1つの
エッチング溝を有する単結晶シリコンウエハとを該下部
固定電極電極と、該エッチング溝とが向かい合うように
接合する工程

(2) 前記ウエハの接合面の背面を研磨する工程

(3) 前記ウエハの接合面の背面に絶縁膜を堆積し、
その面に希望するパターンを得るためにエッチングを用
いて前記絶縁膜を除去した後、異方性エッチングを用い
て前記ウエハの(111)面方向に沿って前記ウエハに
エッチングすることにより前記振動体と、前記固定電極
と、前記駆動電極とを備えた前記構造体を作る工程

(4) 前記振動体と、前記固定電極と、前記駆動電極
との上に金属電極を選択メタライズする工程

【0039】

【作用】請求項第1項記載の慣性力センサは基板と(1
10)面を有するウエハとを接合することにより二層で
構成されたものに対し、ウエハを異方性エッチングする
ことにより振動体と、固定電極とを有する構造体を作る
ため、慣性力センサを製造する際に生じる残留ひずみを
少なくすることが可能となる。

【0040】請求項第2項に記載の慣性力センサは、梁
と質量体のなす形状をウエハ面内で180度の回転対称
となるような構造にしたことにより質量体の変位が平行
移動となるので、質量体の変位できる量を大きくするこ
とができるため、質量体と固定電極とがなすコンデンサ
の静電容量の変化を大きくできる。

【0041】請求項第3項に記載の慣性力センサは、質
量体の形状を平行四辺形にしたことにより質量体の側面
が(110)面に垂直となる(111)面で形成される
ことを保証する。

【0042】請求項第4項に記載の慣性力センサは、質
量体は平行四辺形の形状を有し、梁の一端は平行四辺形
の質量体の鋭角側に位置する構造を設けたことにより上
記ウエハをエッチングすることにより形成される質量体
と梁の境界付近の側面は、結晶面(110)面に垂直と
なる(111)面のみで形成されることを保証する。

【0043】請求項第5項に記載の慣性力センサは、質
量体の振動方向に対する梁の寸法を他の方向の梁の寸法
よりも小となるような構造にしたことにより、特定方向
の感度が向上する。

【0044】請求項第6項または請求項第7項に記載の
慣性力センサは、質量体の振動特性を調節するためのダ
ンピング調節機構を設けることにより、慣性力センサの
周波数特性を改善することが可能となる。

【0045】請求項第8項に記載の慣性力センサは、梯
形の固定電極を設けることにより、慣性力センサの周波
数特性を改善できるとともに、慣性力センサ内のコンデ
ンサの静電容量を増加することが可能となる。

【0046】請求項第9項または請求項第10項に記載
の慣性力センサは、質量体の変位を制限するストッパを
備えたことにより質量体の過大な変位による振動体の梁
にかかる過大な応力による破壊から振動体を守ることが
可能となる。また、質量体と固定電極との吸着を防ぐこ
とも可能となる。

【0047】請求項第11項に記載の慣性力センサは、
質量体の中央付近をくり抜いたことにより、質量体の質
量をくり抜く大きさによって調節することができるの
で、これにより慣性力センサの周波数特性を調節するこ
とが可能となる。

【0048】請求項第12項に記載の慣性力センサは、
中央付近をくり抜いた形状をもたせた質量体の中空部分
に梁とアンカーとを設けたことにより、慣性力センサが
より小型になる。さらにウエハと基板の材質が異なる場
合に生じる応力を回避することが可能となる。

【0049】請求項第13項に記載の慣性力センサは、
中央付近をくり抜いた形状をもたせた質量体の中空部
分、あるいは振動体の周囲にアクチュエート用電極を設
けることにより、慣性力センサに自己診断機能を備える
ことが可能となる。

【0050】請求項第14項に記載の慣性力センサは、
構造体を作るための上記ウエハ上に加速度を検出するた
めのIC化された検出回路を設けることにより、慣性力
センサを小型にすることが可能となる。

【0051】請求項第15項に記載の慣性力センサは、
構造体上に加速度を検出するためのIC化された検出回
路を設けることにより、慣性力センサを小型にすること
が可能となる。

【0052】請求項第16項に記載の慣性力センサは、
構造体の周囲に補助支持部と、該補助支持部上に構造体
を密閉するための保護基板とを設けることにより、パッ
ケージのコストを下げる事が可能となる。

【0053】請求項第17項に記載の慣性力センサは、
検出方向が異なる少なくとも2つの慣性力センサを同一
基板上に組み込むことにより運動する物体の加速度を少
なくとも2つの成分に分けて検出することが可能な慣性
力センサを実現する。

【0054】請求項第18項に記載の慣性力センサは、下部固定電極を2つ備えた基板と、該基板に接合し、かつ(110)面を有する単結晶シリコンからなるウエハを(111)面方向に沿ってエッチングすることにより作られた構造体とを備え、該構造体は2つの前記下部固定電極の上方に空隙を有して位置する2つの質量体と、該質量体を支持し、かつ前記基板と空隙を有して位置する梁と、該梁を支持し、かつ前記基板に接合するアンカーとを有する振動体、前記質量体の外側に設けられた2つの固定電極、および2つの前記質量体の間に位置する駆動電極を備えることにより、回転運動による生じるコリオリ力から角速度を検出する慣性力センサを実現することが可能となる。

【0055】請求項第19項に記載の慣性力センサは、梁と質量体とがなす形状をウエハ面内で180度の回転対称となるような構造にしたことにより質量体の変位が平行移動となるので、質量体の変位できる量を大きくすることができるため、質量体と固定電極とがなすコンデンサの静電容量の変化を大きくできる。

【0056】請求項第20項に記載の慣性力センサは、質量体の形状を平行四辺形にしたことにより質量体の側面が(110)面に垂直となる(111)面で形成されることを保証する。

【0057】請求項第21項に記載の慣性力センサは、質量体は平行四辺形の形状を有し、梁の一端は平行四辺形の質量体の鋭角側に位置する構造を設けたことにより上記ウエハをエッチングすることにより形成される質量体と梁の境界付近の側面は、結晶面(110)面に垂直となる(111)面のみで形成されることを保証する。

【0058】請求項第22項に記載の慣性力センサは、質量体の中央付近をくり抜いたことにより、質量体の質量をくり抜く大きさによって調節することができるので、これにより慣性力センサの周波数特性を調節することが可能となる。

【0059】請求項第23項に記載の慣性力センサは、構造体を作るための上記ウエハ上に角速度を検出するためのIC化された検出回路を設けることにより、慣性力センサを小型にすることが可能となる。

【0060】請求項第24項に記載の慣性力センサは、構造体上に角速度を検出するためのIC化された検出回路を設けることにより、慣性力センサを小型にすることが可能となる。

【0061】請求項第25項に記載の慣性力センサは、構造体の周囲に補助支持部と、該補助支持部上に構造体を密閉するための保護基板とを設けることにより、パッケージのコストを下げる事が可能となる。

【0062】請求項第26項に記載の慣性力センサは、検出方向が異なる少なくとも2つの慣性力センサを同一基板上に組み込むことにより運動する物体の角速度を少なくとも2つの成分に分けて検出することが可能な慣性

力センサを実現する。

【0063】請求項第27項から請求項第28項のいずれかに記載の慣性力センサの製造方法により、高感度、高信頼性の慣性力センサを提供することが可能となる。

【0064】

【実施例】

実施例1. 図1は、この発明による直線運動する物体の加速度を検出する加速度センサの一実施例の構成を示すものである。図1(a)は、この加速度センサの平面図、図1(b)は、A-Aで切断したときの断面図、図1(b)は、図1(a)をB-Bで切断したときの断面図を表す。

【0065】図1において、3は梁、4は質量体、5はアンカー、6は固定電極、7は固定電極、8は金属電極、9はシリコンからなる基板である。梁3、質量体4およびアンカー5は一体化形成され振動体を構成する。さらに振動体と、固定電極6と、固定電極7とで構造体を構成する。構造体は、基板9に絶縁膜を介して接合された表面の結晶面が(110)である単結晶シリコンからなるウエハを異方性エッチングすることにより作る。振動体には電極が形成されている。これにより質量体4は固定電極6と、固定電極7との間を変位することが可能な可動電極を構成する。構造体の側面の結晶面は、ウエハの表面の結晶面(110)面に対して垂直となる(111)面で構成されている。振動体、固定電極6および固定電極7の表面には金属電極8が形成されている。振動体の梁3と質量体4とは、基板9に対し、例えば約2 μ mから3 μ mの空隙を有しており、アンカー5が基板9に接合している。

【0066】加速度センサは、その感度を上げるため特定の方向(実施例1ではy方向)の感度のみ大きくすることが望ましい。これを実現するためには、前記特定の方向の感度を他の方向の感度よりも十分高くなるように設計すればよい。このため梁3は、厚さtに比べ幅wが極めて小さくなるようなハイアスペクト(例えば、 $w/t < 0.1$)な構造を有している。梁3をハイアスペクトな構造にすることによりx軸、y軸およびz軸にそれぞれ等しい慣性力を加えたとき、質量体4のz軸方向の変位は、y軸方向の変位に対して数十倍小さく設計すること(例えば、1/50以下)が可能となり、z軸方向の感度を非常に低く設計することが可能となる。また、x軸方向の変位は、梁3の圧縮モードまたは引張りモードにより規定され、z軸方向の曲げモードに比較して小さくできるので、z軸方向の変位よりもさらに小さく設計することが可能となる。

【0067】質量体4は、その形状は、平行四辺形であり、その鋭角は、70.53度、鈍角は109.47度である。このような角度になるのは、ウエハに作り込まれる構造体の側面の結晶面が(110)面に垂直となるような(111)面で形成されるように異方性エッチン

グを行ったためである。

【0068】次に、図1に示す加速度センサの動作について図2を用いて説明する。図2において、10および11は、質量体4と固定電極7、および質量体4と固定電極6とが形成するコンデンサ、12はAC信号源、13は反転増幅器、14はコンデンサ10とコンデンサ11とを有する加速度センサ素子、15はチャージアンプ、16は同期検波器などの復調器、17はLPFからなるフィルタである。今、y軸正の方向に外力を加えたとする。この時、加速度センサにはy軸負の方向に慣性力をうけるので質量体4はy軸負の方向に変位する。質量体4には、電極が形成されているので質量体4は、可動電極とみることができる。この質量体4の変位により、質量体4と、固定電極6と固定電極7とがなすコンデンサの静電容量が慣性力を受ける前に比べ変化をおこす。この様子を図2(a)に、また図2(a)をコンデンサ10、および11に置き換えたものを図2(b)に*

$$\Delta C \doteq 2C_0 \times \Delta d / d \quad (\Delta d \ll d \text{ のとき}) \dots\dots (1)$$

$$I = j\omega \times \Delta C \times V \dots\dots (2)$$

ここで、

C₀ : 平衡状態における固定電極6または固定電極7と質量体4とがなすコンデンサの静電容量

I : 質量体4に流れる電流

V : AC信号源12の電圧

ω : AC信号源12の角周波数

t : 時間

質量体4に流れる電流をチャージアンプ15により検出し、これを電圧に変換する。これに後段の同期検波器などからなる復調器16により復調される。この後、LPFなどのフィルタ17を通して質量体4の変位による2つのコンデンサの差動容量変化に比例した電圧信号を出力する。本発明の加速度センサは、このように加速度に応じて差動容量が変化するので、その差動容量の変化にともない出力される電圧信号により加速度を検出する構成となっている。さらに、梁3と質量体4とがウエハ面内で180度の回転対称となるような形状をもつことにより、質量体4は、y軸方向の慣性力に対して平行に変位することができ、質量体4が平行に変位することにより、質量体4の変位する量を大きくすることができるため、質量体4と、固定電極6および7とがなすコンデンサの静電容量の変化を大きくすることができる。

【0070】図3に実施例1の加速度センサの製造方法について説明する。図3において、18および19は酸化膜、20は単結晶シリコンからなり結晶面が(110)面を有するデバイスウエハ、21はエッチング溝、22および23は酸化膜または窒化膜などからなるパッシベーション膜、24はp型またはn型の不純物拡散層、25は加速度を検出するための検出回路IC、26は検出回路IC25を組み込むためのシリコンIC基板、27はボンディングワイヤーである。まず、デバイ

*示す。また、加速度センサ素子14を用いて加速度を検出するための検出回路の一例を図2(c)で図示する。検出回路の一例としては、発振周波数の変化を調べる回路、コンデンサの容量変化に伴うインピーダンス変化を取り出す回路、電化蓄積の差動量を電圧に変換する回路などがある。ここでは、質量体4の変位によるコンデンサの容量変化に伴うインピーダンス変化を計測しその値から加速度を算出するような回路の構成について説明する。

【0069】図2(c)に上記検出回路の一例を示す。AC信号源12と反転増幅器13により固定電極6と、固定電極7とにそれぞれ位相の反転した電圧を加える。固定電極6と質量体4との電極間距離と、固定電極7と質量体4との電極間距離との和を2d、質量体4の平衡状態(外力が加わらない状態)からの変位を Δd とすると差動容量 ΔC および質量体4に流れる電流Iは次式で表される。

20 スウエハ20上に厚さ3 μ m程度の酸化膜18を堆積した後、半導体リソグラフィ技術を用いて酸化膜18上にパターンを形成する。その後ドライエッチングまたはウェットエッチングにより酸化膜18表面から2 μ mから3 μ m程度の深さをもつエッチング溝21を形成する。また、エッチング溝21は完成後の質量体4および梁3を自由に振動させるためのものであるから、基板9上の酸化膜19の上にエッチング溝21を設けてもよい。その後、このデバイスウエハ20と酸化膜19を堆積した基板9を融合接合(ヒュージョンボンディング)技術を用いて両者を接合する(図3(a))。

【0071】次に、デバイスウエハ20の表面を研磨しデバイスウエハ20の厚さを所望する厚さに調節する(図3(b))。この後、デバイスウエハ20の表面を保護するためにパッシベーション膜22、および基板9の表面を保護するためにパッシベーション膜23をCVD法(LPCVD、PECVDなど)やスパッタ法によりデバイスウエハ20、および基板9の表面に形成する。その後、パッシベーション膜22の表面に加速度センサを構成する構造体の平面図パターンをドライエッチング(例えば、反応性イオンエッチング(RIE)など)で形成する。

【0072】但し、パッシベーション膜22の表面に加速度センサのパターンを形成する際、デバイスウエハ20の結晶面方位を考慮にいれておく必要がある。これは、デバイスウエハ20にエッチング処理を施す際に垂直方向のエッチングの進行が横方向のエッチングのエッチングの進行よりも速く、エッチング処理終了後には、垂直または垂直に近い断面形状が得られれば、デバイスウエハ20により形成される固定電極6と質量体4とがなす電極面間のギャップ、および固定電極7と質量体4

とがなす電極面間のギャップの広がりを抑えることができ、かつエッチングにより形成される電極面がデバイスウエハ20の表面に対してともに垂直となるような構造となるためである。

【0073】このような垂直方向のエッチングの進行が横方向のエッチングのエッチングの進行よりも速く、エッチング処理終了後には、デバイスウエハ20の表面に対し、垂直となる断面形状が得られるようなエッチング方法を異方性エッチングという。表面の結晶面が(110)である単結晶シリコンをエッチングする際、エッチング液の浸透により形成される側面の結晶面が(110)面に対して垂直となる(111)面となるようにエッチングを行ったときエッチング液の横方向の進行をかなり抑えることが可能となることが知られている。このため、結晶の表面が(110)であるデバイスウエハ20において異方性エッチングを行うためには、エッチング液の浸透により形成される側面の結晶面がデバイスウエハ20の表面の結晶面である(110)面に対して垂直となるような(111)面となる結晶面の面方位を調べておく必要がある。

【0074】結晶面(111)の面方位を調べる方法として、デバイスウエハ20の結晶方向を確認するためにデバイスウエハ20に付けられたメジャーフラット(方位マーク)をもとにして(111)面を調べる方法がある。または、結晶面が(110)であるデバイスウエハ20のパッシベーション膜22の上にあらかじめ面方位を調べるための例えば角度を0.1度づつずらせたいくつかの矩形状のパターンを形成し、これらのパターンにエッチングを行い、横方向のエッチングの進行速度が最小となる面を採用するようにしてもよい(図示せず)。

【0075】このように、異方性エッチングにより形成される側面の結晶面が(110)面に対し垂直となるような(111)面となるようにデバイスウエハ20のパッシベーション膜22上に加速度センサを構成する構造体および固定電極のパターンを形成した後、異方性エッチング液(例えば、KOH、TMAH、ヒドラジン、CsOHなど)を用いてパッシベーション膜22のパターン面からデバイスウエハ20と酸化膜18の境界に到達するまで異方性エッチングを行う。この工程により加速度センサの基本的構成要素である振動体と、固定電極6と、固定電極7とを有する構造体が、同一のデバイスウエハ20から形成される(図3(c))。異方性エッチングの深さは、製造する加速度センサの電極間のギャップと、エッチングレートの選択比(シリコンの(110)面のエッチングレートとシリコンの(111)面のエッチングレートとの比)と、加速度センサの構造と、要求性能とにより適切な値が選ばれる。静電容量の変化から加速度を検出する加速度センサにおいては、電極間ギャップを小さくすることにより電極間容量を大きくすることが、感度を高めるために重要である。形成される

電極間のギャップは、パターニング精度と、エッチングレートの選択比と、エッチングの深さとに依存する。このためパターニング精度と、エッチングレートの選択比とを一定値とすると、形成される電極間のギャップの最小値は、エッチングの深さにより決めることができる。よって、同じ厚みをもつウエハの異方性エッチングでも、一方向からの異方性エッチングを行うのと両面から異方性エッチングを行うのとでは、後者の方が横方向のエッチングの進行をより抑えることができる。よって、図3(a)工程において、酸化膜18上にエッチング溝21を形成した後、エッチング溝21をもつ表面に構造体のパターンをもつ窒化膜をマスクとしてウエハの厚みの半分程度の厚みを異方性エッチングを用いてあらかじめエッチングしておくのもよい(図示せず)。

【0076】次に、デバイスウエハ20からエッチングにより形成された構造体において、その表面のパッシベーション膜22をエッチングにより除去し、p型またはn型の不純物を構造体の表面及び側面に拡散しp型またはn型の不純物拡散層24を形成する。構造体の表面および側面に不純物拡散層24を形成することにより、固定電極6、固定電極7および振動体の導電率を高くすることができる。ただし、不純物拡散層24を形成する工程は、デバイスウエハ20の材質である単結晶シリコンの導電率が高い場合は省略してもよい。その後、振動体の梁3と質量体4とを支持している酸化膜18をエッチングにより除去し梁3と質量体4とを解放する(図3(d))。そしてデバイスウエハ20から形成される構造体の振動体、固定電極6および固定電極7の上に金属電極8をスパッタ装置などにより選択メタライズする(図3(e))。

【0077】次に、別に用意された、加速度を検出するための検出回路をIC化した検出回路IC25を組み込んだシリコンIC基板26をダイボンディング剤を用いて上述の工程により作成された加速度センサ素子14の上に接合する。または、シリコンの低温融合接合技術を用いて加速度センサ素子14と接合してもよい。ここでシリコンの低温融合接合技術を用いるのは検出回路IC25が熱破壊をおこさないようにするためである(図3(g))。その後、ボンディングワイヤー27を用いて構造体、および検出回路IC25の上の金属電極8を配線する。そしてダイシングにより個々の加速度センサに分離する。このダイシングの工程は、検出回路IC25を組み込んだシリコンIC基板26と加速度センサ素子14とを接合する前に行ってもよい。

【0078】または、上述のように加速度を検出するための検出回路をIC化した検出回路IC25を組み込んだシリコンIC基板26を別に用意するのではなく、デバイスウエハ20にあらかじめ検出回路IC25を組み込んでおくのもよい。組み込みの方法として、図3(b)工程の終了後デバイスウエハ20の上に検出回路

IC25を鏡面化された面に作り込めばよい。または、初めからデバイスウエハ20にIC化された検出回路IC25を組み込んでおくのもよい。上述のように図3(b)工程、つまりデバイスウエハ20の表面を研磨し、デバイスウエハ20の厚さを所望する厚さに調節した後、デバイスウエハ20の上に検出回路IC25を鏡面化された面に組み込み、パッシベーション膜22を堆積し、加速度センサのパターンを形成し、異方性エッチングにより振動体、固定電極6、固定電極7、およびシリコンIC基板26を形成する。その後、パッシベーション膜22を除去し、異方性エッチングにより外気にさらされた酸化膜18をエッチングにより除去することにより梁3と質量体4とを解放する。その後、金属電極8を形成し、ボンディングワイヤー27を用いて構造体および検出回路IC25の上の金属電極8を配線する(図3(f))。このような方法を用いると検出回路IC25を組み込んだシリコンIC基板26を基板9に接合する工程を省略することができる。

【0079】また次のような方法を用いても加速度センサは、製造することができる。これを図4を用いて説明する。これは、デバイスウエハ20の上に酸化膜18を堆積しパターン化しエッチングにより酸化膜18上にエッチング溝21を形成するかわりに、デバイスウエハ20自体をエッチングすることによりデバイスウエハ20にエッチング溝21を形成し、その後に酸化膜18を熱酸化やスパッタ法CVD法を用いてデバイスウエハ20の上に堆積させる(図4(a))。その後、シリコンの融合接合を用いて基板9と接合する(図4(b))。その後は、図3(c)工程以降の工程をとることによっても加速度センサを製造することが可能となる。この方法のようにデバイスウエハ20自体に適当な深さをもつエッチング溝21をエッチング技術により形成し、その深さを調整(例えば、数百 μm)することにより、図3(b)の工程、つまりデバイスウエハ20の表面を研磨しその厚さを調節する工程を省略することができる。

【0080】基板9の材質はシリコンとしたが、ガラス(例えば、アルミノ珪酸塩、ホウ珪酸系のガラスなどのようなシリコンの線膨張係数に近い材質)などを基板9の材料に用いてもよい。このガラスからなる基板9を用いて加速度センサを製造する工程の一例を図5を用いて説明する。図5において、28は酸化膜または窒化膜などからなるパッシベーション膜である。

【0081】検出回路IC25をあらかじめ組み込んだデバイスウエハ20にパッシベーション膜28を堆積し、エッチングを用いてエッチング溝21を形成する(図5(a))。次にパッシベーション膜28を除去した後、陽極接合を用いてデバイスウエハ20と基板9とを接合する(図5(b))。または、基板9とデバイスウエハ20とを直接陽極接合するのではなく、酸化膜または窒化膜などからなる絶縁膜を介して基板9とデバイ

スウエハ20とを陽極接合するのでもよい。その後、異方性エッチングによりデバイスウエハ20から構造体と、シリコンIC基板26とを作る(図5(c))。パッシベーション膜22を除去し、構造体に金属電極8を選択メタライズする(図5(d))。あるいは異方性エッチングをするためにパッシベーション膜22に構造体とシリコンIC基板26のパターンを形成する前に金属電極8のパターンを形成し、リフトオフによりCr、Auなどからなる金属電極8を形成してもよい。

【0082】次に上述したいずれかの方法により製造された加速度センサをパッケージ収納した状態の平面図と側面図(図6及び図7)を示す。図6および図7において、29はリードピン、30はステム、31はキャップ、32は接着剤である。図示したものは、検出回路IC25を組み込んだシリコンIC基板26が加速度センサ素子14の上に接合された加速度センサをパッケージしたもの(図6)、および検出回路IC25をデバイスウエハ20に組み込んで製造した加速度センサをパッケージ(図7)したものである。検出回路をIC化していない場合は、ハイブリッドIC用のセラミック基板上に検出回路IC25を除いた加速度センサの構成部分と、検出回路を構成するディスクリート電子部品からなる検出回路とをマウントしこれをパッケージしてもよい(図示せず)。キャップ31内には、センサの周波数特性を調整する場合、必要に応じて圧力媒体(例えば、ある特定圧力の空気、窒素またはAr等の不活性ガス)や液体(例えば、シリコンオイルなど)を封入すればよい。

【0083】加速度センサをパッケージする工程は、微細なごみや埃が加速度センサの電極間に入り込むことにより加速度センサに悪影響を与えることがあるので、この工程を行う際には、クリーンな環境で行う必要がある。またダイシングの工程で発生する切り屑による汚染から加速度センサを守る必要もある。

【0084】また、図8に示すような構成にしてもよい。図8において、33は補助支持部、34は保護基板、35はエッチング溝である。また保護基板34には、エッチング溝35、および金属電極8と向い合う部分に穴が形成されている。図8のように補助支持部33を加速度センサ素子14の側面を取り囲むように(検出回路IC25が同基板上に作られている場合これを含む)形成し、ガラスなどからなる保護基板34を補助支持部33と陽極接合することにより加速度センサは汚染防止される。陽極接合する際、補助支持部33を陽極とし、保護基板34を陰極として陽極接合をする。または、基板9の材質がガラスである場合、基板9を陽極とし、保護基板34を陰極として陽極接合をするのでもよい。または基板9および補助支持部33を陽極とし、保護基板34を陰極として陽極接合するのでもよい。保護基板34には、酸化膜または窒化膜などの絶縁膜を有するシリコンを用いてもよい。絶縁膜を有するシリコンか

らなる保護基板 34 を用いる場合は、補助支持部 33 との接合にシリコンの低温融合接合を用いて接合してもよい。陽極接合の際には、加速度センサの周波数特性の最適化を行うために不活性ガスを導入したり、内部圧力を調整することがある。また補助支持部 33 に電氣的に接地するための電極を設けて接地することにより、浮遊容量を安定化することができ、静電シールドとして利用することもできる（図示せず）。

【0085】こうして作られた補助支持部 33 と保護基板 34 を有する加速度センサの構造体は検出回路 IC 25 またはディスクリート部品からなる検出回路とともにセラミックスなどからなる基板上にマウントされ、簡易なプラスチックパッケージに収納することが可能となる（図示せず）。これにより、加速度センサのパッケージのコストを下げる事が可能となり、より低コストの加速度センサを提供することが可能となる。

【0086】図 8 にみられるように、保護基板 34 の質量体 4 の鉛直上方付近に位置する部分には、あらかじめウェットエッチングなどによりエッチング溝 35 が設けられており質量体 4 の上下方向の過大な変位を防ぐストッパの機能をもつ。エッチング溝 35 は質量体 4 と梁 3 とを自由に振動させるためのものであるからデバイスウエハ 20 にエッチング溝 35 を設けてもよい。

【0087】実施例 2. 図 9 の加速度センサにおいて、36 は加速度センサの周波数特性を調節するためのダンピング調節機構である。慣性力により質量体 4 が変位する際、変位方向に直角な全ての質量体 4 の側面は、周囲の媒体（周波数特性を調整するために封入した圧力媒体や液体など）により抵抗力をうける。この抵抗力は、質量体 4 の振動方向に垂直な側面の面積が大きいほど、大きくなる。図 1 の加速度センサにおいて、固定電極 6 および固定電極 7 は質量体 4 に対向するように配置しているので、これらの構成自体ダンピング調節機能を有しているといえる。しかし、図 1 で構成される加速度センサにおける質量体 4 の振動方向に垂直な側面の面積だけでは、希望する抵抗力がえられない場合がある。

【0088】図 9 の加速度センサは、質量体 4 の振動方向に垂直な側面の面積を増やすために、質量体 4 の相向かう 2 辺を櫛形の形状にし、かつこの櫛形の形状に向かい合う櫛形形状のダンピング調整機構 36 を設けたものである。これにより構造体の表面の結晶面 (110) 面に対し 35.26 度の角度をなす新たな (111) 面の結晶面を生じる。これは、構造体の表面の結晶面である (110) 面と垂直になる 2 つの (111) 面のなす角度が 70.53 度をとなる部分に異方性エッチングを行うことにより形成される。実施例 1 では (110) 面と 35.26 度の角度をなす (111) 面が生じないように設計している。異方性エッチングを行うことにより

(110) 面と 35.26 度の角度をなす (111) 面が形成される場合、この面が質量体 4 の運動を妨げない

ように設計しなければならない。

【0089】加速度センサの質量体 4 が慣性力により変位する際に受ける抵抗力は、質量体 4 の振動方向に垂直な側面の面積に比例する。よって、櫛形形状のダンピング調節機構 36 と質量体 4 の櫛の本数と長さを調節することにより質量体 4 の受ける抵抗力を調節することが可能となり、これより図 10 のように加速度センサの周波数特性を任意に調節してやること（例えば、臨界減衰状態： $\zeta=0.707$ 、 ζ : 減衰係数）が可能となる。また、この周波数特性はパッケージ内の気体圧力を変えたり、粘性がある液体を封入することにより調整することも可能である。

【0090】このように櫛形構造のダンピング調節機構 36 と質量体 4 のなす櫛形のペアのうち少なくとも 1 つのペアのギャップをある一定値に設計することにより、過大な衝撃加速度により質量体 4 が大変位することによる梁 3 の破壊、または質量体 4 と固定電極の静電引力による吸着を防止するストッパの機能も備えることが可能となる。以上のように櫛形構造をもつダンピング調節機構 36 および質量体 4 を設けることにより周波数特性、耐衝撃性、信頼性に優れた加速度センサを提供することが可能となる。

【0091】実施例 3. 実施例 3 の加速度センサの一例を図 11 に示す。図 11 において、38 および 39 は櫛形の固定電極、40 はアクチュエータ用電極である。質量体 4 の櫛は、質量体 4 の櫛と隣り合う固定電極 39 の櫛とのギャップを、一方が他方よりも小さくなるような非対称な配置をしている。これは、慣性力により質量体 4 が変位する際、質量体 4 の櫛と隣合う固定電極 39 とのギャップが小さい部分で形成されるコンデンサが、質量体 4 の櫛と隣合う固定電極 39 の櫛とのギャップが大きい部分で形成されるコンデンサよりも、その静電容量を十分大きく変化させることができるようにギャップの値を設計しているからである。これより、質量体 4 の櫛と、隣り合う固定電極 39 の櫛とのギャップが、一方が他方よりも小さくなる部分で櫛形電極ペア 37 を形成しており、1 組の櫛形電極ペアでコンデンサを形成している。また、質量体 4 の櫛と隣り合う固定電極 38 の櫛とも同じ関係がある。また、質量体 4 と固定電極 38 とがなす櫛形電極ペア 37 のギャップを質量体 4 と固定電極 6 との電極間のギャップに等しくし、かつ質量体 4 と固定電極 39 とがなす櫛形電極ペア 37 のギャップを質量体 4 と固定電極 7 との電極間のギャップに等しくしている。さらに、固定電極 6 と固定電極 38 とを外部で電氣的に接続し、かつ固定電極 7 と固定電極 39 とを外部で電氣的に接続している。または、はじめから固定電極 6 と固定電極 38 とを共通にし、かつ固定電極 7 と固定電極 39 とを共通にしてもよい。

【0092】コンデンサの容量の変化から加速度を検出する場合、質量体 4 と固定電極とが形成するコンデンサ

の静電容量が大きい程、加速度をより高感度に検出することが可能である。またコンデンサの静電容量は、電極面積に比例する。よって固定電極 38 および固定電極 39 と、質量体 4 とを楕形にし、かつ質量体 4 と、固定電極 38 とで形成される楕形電極ペア 37 のギャップを質量体 4 と固定電極 6 とのギャップに等しく設定し、かつ質量体 4 と固定電極 39 とで形成される楕形電極ペア 37 のギャップを質量体 4 と固定電極 7 とのギャップに等しく設定し、かつ楕形電極ペア 37 の数を増やすことにより限られた面積内（素子のサイズが同じであったとしても）でコンデンサの静電容量を増加させることが可能となる。固定電極 38 および固定電極 39 を楕形電極で構成することにより、固定電極 38 および固定電極 39 は、ダンピング調節機能と、コンデンサの静電容量を増加させる機能とを合わせもつことになる。よって、楕形電極ペア 37 のペア数の設計においては、両者を考慮に入れて設計する必要がある。

【0093】また図 11 では、質量体 4 に空洞を設け、その中にアクチュエート用電極 40 を設けている。これにより加速度センサに自己診断機能をもたせることが可能である。つまり、アクチュエート用電極 40 と質量体 4 との間に電位差を生じさせると静電引力により質量体は変位をする。この静電引力は加速度センサに外力を与えたのに見かけ上等しく、加速度センサの質量体 4 がこれにより確実に変位するかどうかをコンデンサの容量変化にともない出力された値から診断することができる。この意味で加速度センサにはアクチュエート用電極 40 を設けることにより自己診断機能をもたせることが可能となる。または、固定電極 38 の一部を電氣的に切り離すことによりアクチュエート用電極とすることができ、このアクチュエート用電極 40 は、図 1、図 8、図 9 および後述する図 12、図 13、図 16 に対しても適用することが可能となる。また、固定電極 6 と固定電極 38、または固定電極 7 と固定電極 39 のいずれかのペアを他方のペアに対して若干質量体 4 寄りに配置することにより質量体 4 の変位を制限するストッパとすることも可能である。

【0094】実施例 4. 実施例 4 の加速度センサの一例を図 12 に示す。図 12 において 41 は質量体突き出し部である。図 12 のように梁 3 を質量体 4 から突き出さず、質量体 4 の一辺にそった形にすることで加速度センサをより小型に製造することが可能となる。また、振動体に質量体突き出し部 41 を設けることで、梁 3 とおよびアンカー 5 とこの質量体突き出し部 41 との間隔を梁 3 と固定電極との間隔よりも小さい値に設計することによりセルフストッパとすることが可能である。

【0095】図 13 は、図 12 に改良を加えたものである。図 13 において、42 は質量体 4 の質量を調整するための質量体質量調整ホールである。図 13 は、楕形の固定電極 6 および固定電極 7 と、ダンピング調節機構 3

6 と、アクチュエート用電極 40 と、質量体質量調整ホール 42 とを設けたものである。この質量体質量調整ホール 42 の大きさにより質量体 4 の質量を調節することができる。これより、梁 3 の長さを変えずに加速度センサの周波数特性と、感度の調節とを質量体質量調整ホール 42 の大きさを変化させることで実行することができる。

【0096】実施例 5. 図 14 は、質量体 4 の内側に梁 3 とアンカー 5 とを作ったものである。これまでの実施例のように構造体がアンカーを 2 つ有する場合、基板 9 と構造体との材質が異なる場合、線膨張係数が異なるため温度変化により基板 9 と振動体の 2 つのアンカー 4 に生じるひずみから梁 3 に応力を生じるといった問題がある。振動体をこのような構造にすると、基板 9 と線膨張係数が異なっても基板 9 とアンカーに生じるひずみにより梁 3 が応力を受けるということはない。

【0097】実施例 6. 図 15 は変位可能な方向が互いに直交する 2 つの加速度センサを同一の基板上に製造したものである。図 15 において、43 は x 軸方向の加速度を検出するための x 軸方向加速度センサ、44 は y 軸方向の加速度を検出するための y 軸方向加速度センサである。これにより x 軸および y 軸の 2 軸の加速度を測定することが可能となる。

【0098】実施例 7. 実施例 7 は、回転運動をする物体の角速度を検知することが可能な角速度センサである。図 16 は、回転運動をする物体の角速度を検知する角速度センサの構成を示す平面図 (a) とその F-F' の断面図 (b) である。図 16 において、45 は駆動電極、46 および 47 は振動モニタ用電極、並びに 48 および 49 は下部固定電極である。この角速度センサの振動体は、4 つの梁 3、2 つの質量体 4、および 3 つのアンカー 5 を備えている。また、この角速度センサの構造体は、振動体と駆動電極 45、振動モニタ用固定電極 46 および振動モニタ用電極 47 を備えている。このセンサの具体的な構造は、振動体において電氣的に電位が等しい 2 つの質量体 4 の間に固定電極である駆動電極 45 を配置し、各質量体 4 の外側には振動モニタ用固定電極 46、および振動モニタ用固定電極 47 を配置したものである。この角速度センサは、振動体と、駆動電極 45 と、振動モニタ用固定電極 46 と、振動モニタ用固定電極 47 とを有する構造体を同一ウエハから異方性エッチングにより作っている。さらに各質量体 4 の下面に位置する基板 9 上には、質量体 4 の振動を検出するための下部固定電極 48 と、下部固定電極 49 とを設けたものである。また加速度センサと同様に補助支持部 33 に電氣的に接地するための電極を設けて接地することにより、浮遊容量を安定化することができ、静電シールドとして利用することもできる（図示せず）。

【0099】次に、この角速度センサの動作を図 17 を用いて説明する。図 17 において、50 および 51 は質

量体 4 と、下部固定電極 48 および 49 とで構成されるコンデンサ、52 は DC バイアス電圧源、53 は AGC (オートゲインコントロール) 回路、54 は C-V (容量-電圧) 変換器、58 は AC 電圧源である。駆動電極 45 に接続された AC 電圧源 58 とバイアスのための DC バイアス電圧源 52 とにより、2 つの質量体 4 は駆動電極 45 との間に生じる静電引力により互いに 180 度の位相差をもって AC 電圧源 58 の周波数に応じて励起振動する。このとき図の平面図に示す水平軸方向の角速度ベクトル Ωx がある場合、すなわち角速度センサが、10 水平軸のまわりに回転運動することにより生じる角速度*

$$u_y = A \times \sin(\omega r T) \quad \dots \dots \dots (3)$$

$$u_y' = A \times \omega r \times \cos(\omega r T) \quad \dots \dots \dots (4)$$

A : 質量体 4 の y 方向の最大変位

ωr : 質量体 4 の y 方向振動の角周波数

回転運動をするとき、質量体 4 は、 u_y' に比例するコ※

$$F_c = 2 \Omega x \times m \times u_y' \quad \dots \dots \dots (5)$$

なる関係がある。また、コリオリ力 F_c と z 方向の変位★

$$F_c = k_z \times u_z \quad \dots \dots \dots (6)$$

なる関係がある。これら (6)、(7) の 2 式より 20

$$u_z = (2 \Omega x \times m \times u_y') / k_z \quad \dots \dots \dots (7)$$

となる。これより質量体 4 と下部固定電極 48 との間の静電容量、並びに質量体 4 と下部固定電極 49 との間の静電容量の変化が励起振動で変調された形で変化することが分かる。この様子を図 17 (a) に、またこの等価回路を図 17 (b) に図示する。また角速度を検出するための検出回路構成の一例を図 17 (c) に示す。

【0101】2 つの質量体 4 の y 方向の励起振動変位 u_y は、お互いに位相が 180 度ずれているため、2 つの質量体に働くコリオリ力 F_c の位相もお互いに 180 度ずれる。よって、質量体 4 と下部固定電極 48 とがなすコンデンサの容量、並びに質量体 4 と下部固定電極 49 とがなすコンデンサの容量は一方が増加すれば他方は減少する。この差動容量変化に比例した電圧を図 17

(c) で示す回路でとりだす。この検出回路は、図 2

(c) と基本的な構成は同じである。異なる点は、質量体を一定振幅で励起振動させるため、DC バイアス電圧源 52、AC 電圧源 58 と AGC (オートゲインコントロール) 回路 53、振動モニター用電極 46 および振動モニター用電極 47 を有する点である。また C-V (容量-電圧) 変換器 54 は、図 2 (c) の 12、13、15、16、17 で形成される回路で表される。

【0102】次に、この回転運動をする物体の角速度を検出する角速度センサの製造工程の一例を図 18 により説明する。図 18 は基板 9 の材質がガラス (例えば、アルミノ珪酸塩、ホウ珪酸系のガラスなどのようなシリコンの線膨張係数に近い材質) である場合の角速度センサの製造工程を示す図である。このセンサの製造工程は、直線運動する物体の加速度を検出する加速度センサの製造工程と共通している点が多い。ここで、梁 3 は、その

* Ωx がある場合、質量体 4 には図 16 (b) F-F 断面図に示す方向に慣性力としてのコリオリ力が発生する。よって、回転運動をする場合、このセンサの質量体 4 は、AC 電圧源 58 による励起振動と、回転運動により生じたコリオリ力による振動とを重畳した振動をする。また、AC 電圧源 58 により生じた静電引力による励起振動の方向と、回転運動により生じたコリオリ力による振動の方向とは互いに直交する。

【0100】質量体 4 の励起振動による y 方向の変位 u_y 、y 方向の速度 u_y' に以下の関係があるとする。

※コリオリ力 F_c を生じ、その方向は図 16 に図示した通りである。コリオリ力 F_c は、測定対象の角速度を Ωx 、各質量体 4 の質量を m とすると

★ u_z との関係は、z 方向の剛性率を k_z とすると

幅と、厚さとを等しくする必要がある。なぜなら、y 軸方向の振動の駆動周波数は、検出感度を上げるため、その振動方向の構造上の共振点またはその付近を利用するため、この周波数で変調される z 軸方向の構造上の共振点と共通にしておくのが望ましいからである。

【0103】まず、デバイスウエハ 20 上にフォトリソグラフィーおよびエッチングによりエッチング溝 21 を設け、その後エッチング溝 21 を設けた表面に酸化膜 18 を形成する。この場合、角速度検出の感度は、質量体 4 と下部固定電極 48 および 49 とが形成するコンデンサ容量に依存する。エッチング溝 21 は質量体 4 の変位できる量を規定する。つまり検出感度はエッチング溝 21 の深さに依存するため、数 μm (例えば、2 μm から 3 μm) 程度とする。一方、基板 9 に下部固定電極 48 および下部固定電極 49 を蒸着またはスパッタなどにより選択メタライズする (図 18 (a))。またはリフトオフにより金属電極 8 を形成するのもよい。この後、デバイスウエハ 20 と基板 9 をアライメントし、陽極接合をする。次に、デバイスウエハ 20 の厚みを調整する。y 軸方向の振動の駆動周波数は、検出感度を上げるため、その振動方向の構造上の共振点またはその付近を利用するため、この周波数で変調される z 軸方向の構造上の共振点と共通にしておくのが望ましい。よって、デバイスウエハ 20 の厚みは、デバイスウエハ 20 から形成される梁 3 の幅と同じになるように調整してやるとよい (図 18 (b))。または、質量体 4 の質量を調整するために質量体 4 に質量体質量調整ホール 42 (図示せず) を設けることにより、角速度センサの周波数特性と感度とを調節することも可能である。

【0104】また、基板9がシリコンからなる場合、基板9と下部固定電極48および下部固定電極49との間を絶縁する必要があるため、基板9の表面に酸化膜または窒化膜からなる絶縁膜を堆積し、下部固定電極48および下部固定電極49のパターンを形成後、蒸着またはスパッタなどにより下部固定電極48および下部固定電極49を選択メタライズする。または、下部固定電極48および下部固定電極49のレジストパターンを形成後蒸着またはスパッタを行いリフトオフにより下部固定電極48および下部固定電極49を形成するのでもよい。または、酸化膜または窒化膜などからなる絶縁膜をマスクとして基板9自体にp型またはn型の不純物を拡散させることにより形成される不純物拡散層を下部固定電極48および49としてもよい（図示せず）。この後、デバイスウエハ20と基板9をアライメントし、低温融合接合により両者を接合する。

【0105】次に、デバイスウエハ20の表面にPECVDまたはスパッタなどにより窒化膜または酸化膜などからなるパッシベーション膜22を堆積させた後、パターンニングする（図18（c））。この際、次の工程でデバイスウエハ20をエッチングする際に異方性エッチングを利用する場合、デバイスウエハ20の結晶方向を考慮して行わなければならない。結晶方向を調べる方法、および異方性エッチングについては、既に述べたので、ここでは省略する。

【0106】次に、異方性エッチング液によるウェットエッチング、またはドライエッチング（例えば、反応性イオンエッチング（RIE）法など）を用いてデバイスウエハ20を異方性エッチングすることにより振動体、駆動電極45、振動モニタ用固定電極46、および振動モニタ用固定電極47を有する構造体、並びに補助支持部54を作り、パッシベーション膜22を除去し、蒸着またはスパッタなどにより金属電極8を選択メタライズする（図18（d））。あるいは異方性エッチングをするためにパッシベーション膜22に構造体とシリコンIC基板26のパターンを形成する前に金属電極8のパターンを形成し、リフトオフによりCr、Auなどからなる金属電極8を形成してもよい。

【0107】次に、減圧雰囲気（例えば真空または真空中に近い状態）で、エッチング溝35および金属電極8と向い合う部分に穴を設けた保護基板34（この例では材質はガラス）と、デバイスウエハ20とを陽極接合する。陽極接合する際、補助支持部33を陽極とし、保護基板34を陰極として陽極接合をする。または、基板9の材質がガラスである場合、基板9を陽極とし、保護基板34を陰極として陽極接合をするのでもよい。または、基板9および補助支持部33を陽極とし、保護基板34を陰極として陽極接合するのでもよい。保護基板34がシリコンである場合、低温融合接合する。回転運動する物体の角速度を検出する角速度センサにおいては、

質量体の共振現象を利用するため質量体とその他の電極との間に生じるダンピング（例えば、空気粘性によるダンピングまたはスクイーズダンピングなど）を極力抑える必要がある。よって保護基板34のエッチング溝35とデバイスウエハ20のエッチング溝21によりできた質量体4の周りの空洞部は、真空または真空中に近い状態であることが望ましい（図18（e））。

【0108】以上の工程により回転運動をする物体の角速度を検出する角速度センサの構造体が完成する。この工程は、前述の直線運動する物体の加速度を検出する加速度センサの製造工程と共通部分が多いので、直線運動する物体の加速度を検出する加速度センサの製造工程を用いて回転運動をする物体の角速度を検出する角速度センサを製造することが可能である。また角速度を検出するための検出回路IC25を基板9に作り込むことも可能である。

【0109】また、回転運動をする物体の角速度を検出する2つの角速度センサにおいて、AC電圧源58による振動励起方向が互いに直交するように同一基板上に配置することにより回転方向が異なる2軸に対して角速度を検出することができる角速度センサができる（図示せず）。

【0110】また、実施例7の角速度センサと実施例1から5に述べた少なくともいずれか1つの角速度センサを同一基板上に作り込むことにより回転運動による角速度と直線運動による加速度とを検出することが可能な角速度センサができる。（図示せず）

【0111】

【発明の効果】請求項第1項記載の慣性力センサは基板と（110）面を有するウエハとを接合することにより二層で構成されたものに対し、ウエハを異方性エッチングすることにより振動体と、固定電極とを有する構造体を作るため、慣性力センサを製造する際に生じる残留ひずみを少なくすることが可能となる。

【0112】請求項第2項に記載の慣性力センサは、梁と質量体のなす形状をウエハ面内で180度の回転対称となるような構造にしたことにより質量体の変位が平行移動となるので、質量体の変位できる量を大きくすることができるため、質量体と固定電極とがなすコンデンサの静電容量の変化を大きくできる。

【0113】請求項第3項に記載の慣性力センサは、質量体の形状を平行四辺形にしたことにより質量体の側面が（110）面に垂直となる（111）面で形成されることを保証する。

【0114】請求項第4項に記載の慣性力センサは、質量体は平行四辺形の形状を有し、梁の一端は平行四辺形の質量体の鋭角側に位置する構造を設けたことにより上記ウエハをエッチングすることにより形成される質量体と梁の境界付近の側面は、結晶面（110）面に垂直となる（111）面のみで形成されることを保証する。

【0115】請求項第5項に記載の慣性力センサは、質量体の振動方向に対する梁の寸法を他の方向の梁の寸法よりも小となるような構造にしたことにより、特定方向の感度が向上する。

【0116】請求項第6項または請求項第7項に記載の慣性力センサは、質量体の振動特性を調節するためのダンピング調節機構を設けることにより、慣性力センサの周波数特性を改善することが可能となる。

【0117】請求項第8項に記載の慣性力センサは、楕形の固定電極を設けることにより、慣性力センサの周波数特性を改善できるとともに、慣性力センサ内のコンデンサの静電容量を増加することが可能となる。

【0118】請求項第9項または請求項第10項に記載の慣性力センサは、質量体の変位を制限するストッパを備えたことにより質量体の過大な変位による振動体の梁にかかる過大な応力による破壊から振動体を守ることが可能となる。また、質量体と固定電極との吸着を防ぐことも可能となる。

【0119】請求項第11項に記載の慣性力センサは、質量体の中央付近をくり抜いたことにより、質量体の質量をくり抜く大きさによって調節することができるので、これにより慣性力センサの周波数特性を調節することが可能となる。

【0120】請求項第12項に記載の慣性力センサは、中央付近をくり抜いた形状をもたせた質量体の中空部分に梁とアンカーとを設けたことにより、慣性力センサがより小型になる。さらにウエハと基板の材質が異なる場合に生じる応力を回避することが可能となる。

【0121】請求項第13項に記載の慣性力センサは、中央付近をくり抜いた形状をもたせた質量体の中空部分、あるいは振動体の周囲にアクチュエータ用電極を設けることにより、慣性力センサに自己診断機能を備えることが可能となる。

【0122】請求項第14項に記載の慣性力センサは、構造体を作るための上記ウエハ上に加速度を検出するためのIC化された検出回路を設けることにより、慣性力センサを小型にすることが可能となる。

【0123】請求項第15項に記載の慣性力センサは、構造体上に加速度を検出するためのIC化された検出回路を設けることにより、慣性力センサを小型にすることが可能となる。

【0124】請求項第16項に記載の慣性力センサは、構造体の周囲に補助支持部と、該補助支持部上に構造体を密閉するための保護基板とを設けることにより、パッケージのコストを下げる事が可能となる。

【0125】請求項第17項に記載の慣性力センサは、検出方向が異なる少なくとも2つの慣性力センサを同一基板上に組み込むことにより運動する物体の加速度を少なくとも2つの成分に分けて検出することが可能な慣性力センサを実現する。

【0126】請求項第18項に記載の慣性力センサは、下部固定電極を2つ備えた基板と、該基板に接合し、かつ(110)面を有する単結晶シリコンからなるウエハを(111)面方向に沿ってエッチングすることにより作られた構造体とを備え、該構造体は2つの前記下部固定電極の上方に空隙を有して位置する2つの質量体と、該質量体を支持し、かつ前記基板と空隙を有して位置する梁と、該梁を支持し、かつ前記基板に接合するアンカーとを有する振動体、前記質量体の外側に設けられた2つの固定電極、および2つの前記質量体の間に位置する駆動電極を備えることにより、回転運動による生じるコリオリ力から角速度を検出する慣性力センサを実現することが可能となる。

【0127】請求項第19項に記載の慣性力センサは、梁と質量体のなす形状をウエハ面内で180度の回転対称となるような構造にしたことにより質量体の変位が平行移動となるので、質量体の変位できる量を大きくすることができ、質量体と固定電極とがなすコンデンサの静電容量の変化を大きくできる。

【0128】請求項第20項に記載の慣性力センサは、質量体の形状を平行四辺形にしたことにより質量体の側面が(110)面に垂直となる(111)面で形成されることを保証する。

【0129】請求項第21項に記載の慣性力センサは、質量体は平行四辺形の形状を有し、梁の一端は平行四辺形の質量体の鋭角側に位置する構造を設けたことにより上記ウエハをエッチングすることにより形成される質量体と梁の境界付近の側面は、結晶面(110)面に垂直となる(111)面のみで形成されることを保証する。

【0130】請求項第22項に記載の慣性力センサは、質量体の中央付近をくり抜いたことにより、質量体の質量をくり抜く大きさによって調節することができるので、これにより慣性力センサの周波数特性を調節することが可能となる。

【0131】請求項第23項に記載の慣性力センサは、構造体を作るための上記ウエハ上に角速度を検出するためのIC化された検出回路を設けることにより、慣性力センサを小型にすることが可能となる。

【0132】請求項第24項に記載の慣性力センサは、構造体上に角速度を検出するためのIC化された検出回路を設けることにより、慣性力センサを小型にすることが可能となる。

【0133】請求項第25項に記載の慣性力センサは、構造体の周囲に補助支持部と、該補助支持部上に構造体を密閉するための保護基板とを設けることにより、パッケージのコストを下げる事が可能となる。

【0134】請求項第26項に記載の慣性力センサは、検出方向が異なる少なくとも2つの慣性力センサを同一基板上に組み込むことにより運動する物体の角速度を少なくとも2つの成分に分けて検出することが可能な慣性

力センサを実現する。

【0135】請求項第27項から請求項第28項のいずれかに記載の慣性力センサの製造方法により、高感度、高信頼性の慣性力センサを提供することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施例1の加速度センサの平面図と断面図である。

【図2】 本発明の実施例1の加速度センサの検出原理を示す図、その等価回路を示す図、加速度を検出するための検出回路の一例を示す図である。

【図3】 本発明の実施例1の加速度センサの製造工程の一例を示す図である。

【図4】 本発明の実施例1の加速度センサの製造工程の一例を示す図である。

【図5】 本発明の実施例1の加速度センサの製造工程の一例を示す図である。

【図6】 本発明の実施例1の加速度センサのパッケージングの一例を示す図である。

【図7】 本発明の実施例1の加速度センサのパッケージングの一例を示す図である。

【図8】 本発明の実施例1の加速度センサをガラス基板でパッケージングしたときの平面図(a)と断面図(b)を示す図である。

【図9】 本発明の実施例2の加速度センサの平面図と断面図を示す図である。

【図10】 本発明の実施例2の加速度センサをダンピング調節を行ったときと行わないときの周波数に対するゲインの変化を示す図である。

【図11】 本発明の実施例3の加速度センサの平面図と断面図を示す図である。

【図12】 本発明の実施例4の加速度センサの一例を示す図である。

【図13】 本発明の実施例4の加速度センサの一例を示す図である。

【図14】 本発明の実施例5の加速度センサの一例を示す平面図と断面図である。

【図15】 本発明の実施例6の加速度センサの一例を示す図である。

【図16】 本発明の実施例7の角速度センサの平面図と断面図を示す図である。

【図17】 本発明の実施例7の角速度センサの検出原理を示す図、その等価回路を示す図(b)、角速度を検出するための検出回路の一例を示す図である。

【図18】 本発明の実施例7の角速度センサの製造工

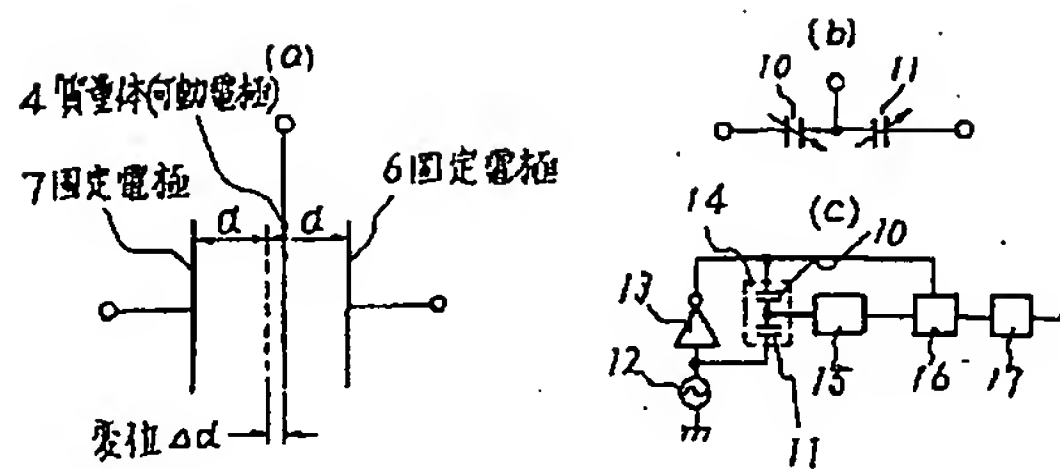
程の一例を示す図である。

【図19】 従来の加速度センサを示す図である。

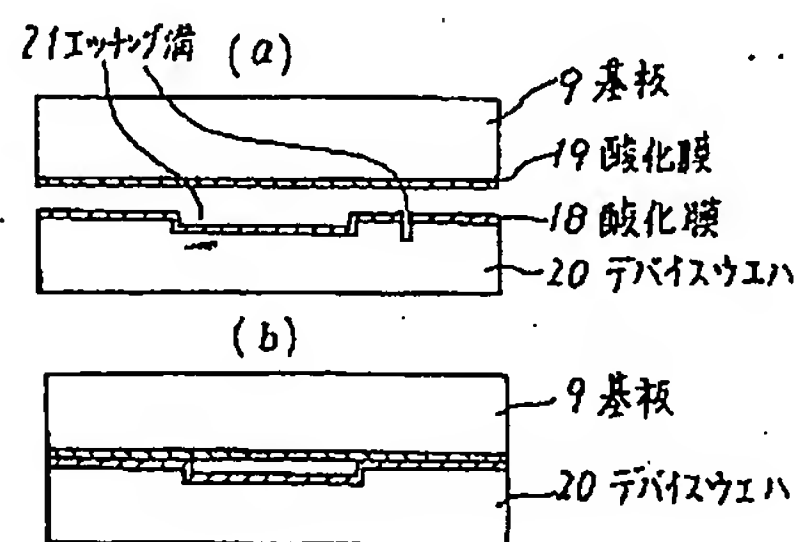
【符号の説明】

3 : 梁	4 : 質量体	5 :
アンカー		
6 : 固定電極	7 : 固定電極	8 :
金属電極		
9 : 基板	10 : コンデンサ	1
1 : コンデンサ		
10 12 : AC信号源	13 : 反転増幅器	1
4 : 加速度センサ素子		
15 : チャージアンプ	16 : 復調器	1
7 : フィルタ		
18 : 酸化膜	19 : 酸化膜	2
0 : デバイスウエハ		
21 : エッチング溝	22 : パッシベーション膜	
23 : パッシベーション膜		2
4 : 不純物拡散層		
25 : 検出回路IC	26 : シリコンIC基板	2
20 7 : ボンディングワイヤー		
28 : パッシベーション膜		2
9 : リードピン		
30 : ステム	31 : キャップ	3
2 : 接着剤		
33 : 補助支持部	34 : 保護基板	3
5 : エッチング溝		
36 : ダンピング調節機構		37
櫛形電極ペア		
38 : 固定電極	39 : 固定電極	4
30 0 : アクチュエート用電極		
41 : 質量体突き出し部		4
2 : 質量体質量調整ホール		
43 : x軸方向加速度センサ		4
4 : y軸方向加速度センサ		
45 : 駆動電極	46 : 振動モニタ用電極	4
7 : 振動モニタ用電極		
48 : 下部固定電極	49 : 下部固定電極	5
0 : コンデンサ		
51 : コンデンサ	52 : DCバイアス電圧源	
40 53 : AGC (オートゲインコントロール) 回路		
54 : C-V (容量-電圧) 変換器		5
5 : シリコン基板		
56 : ガラス基板	57 : ガラス基板	5
8 : AC電圧源		

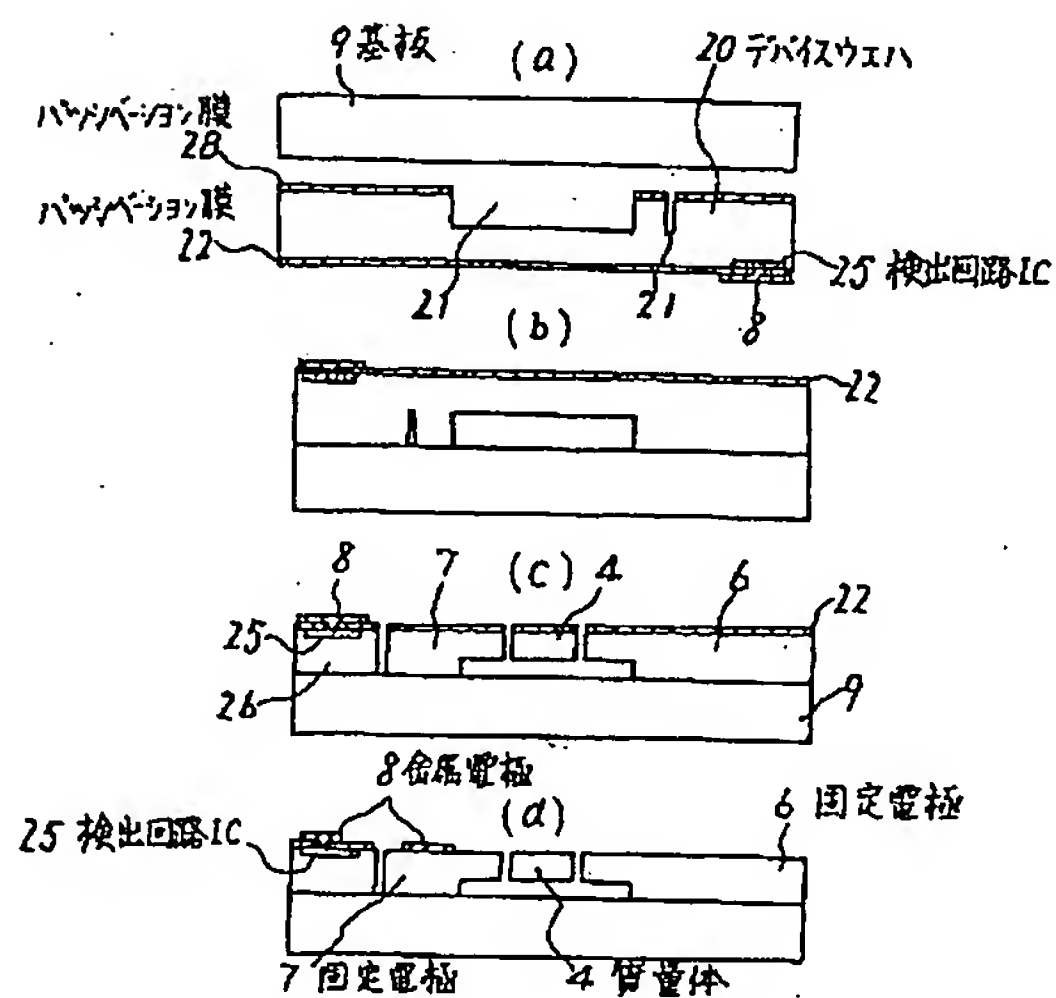
【図 2】



【図4】

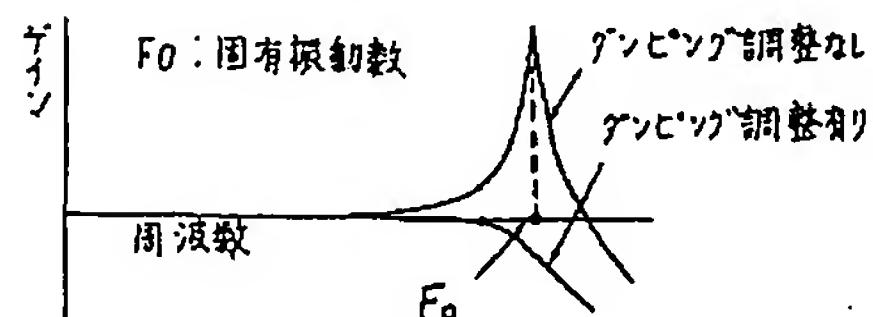
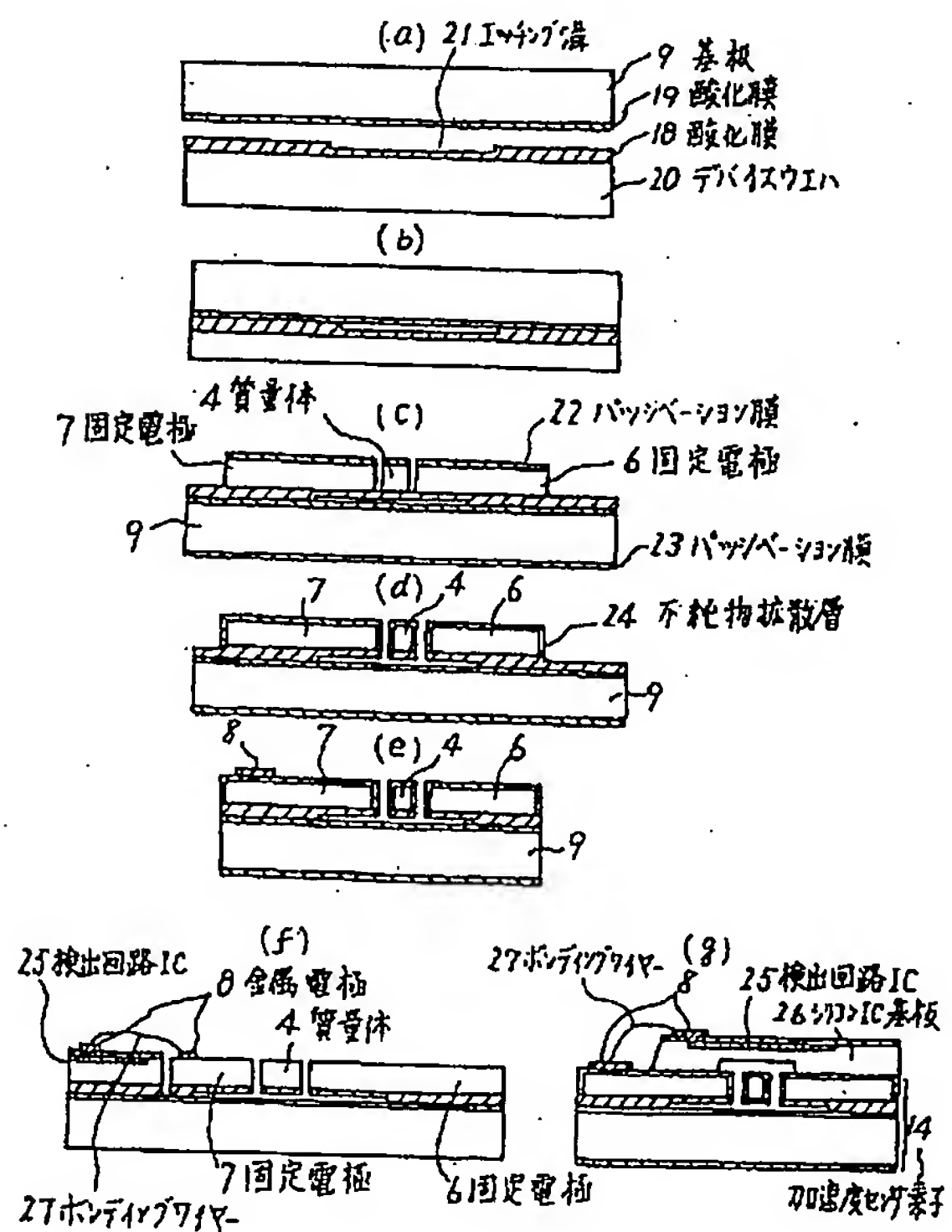


【図5】

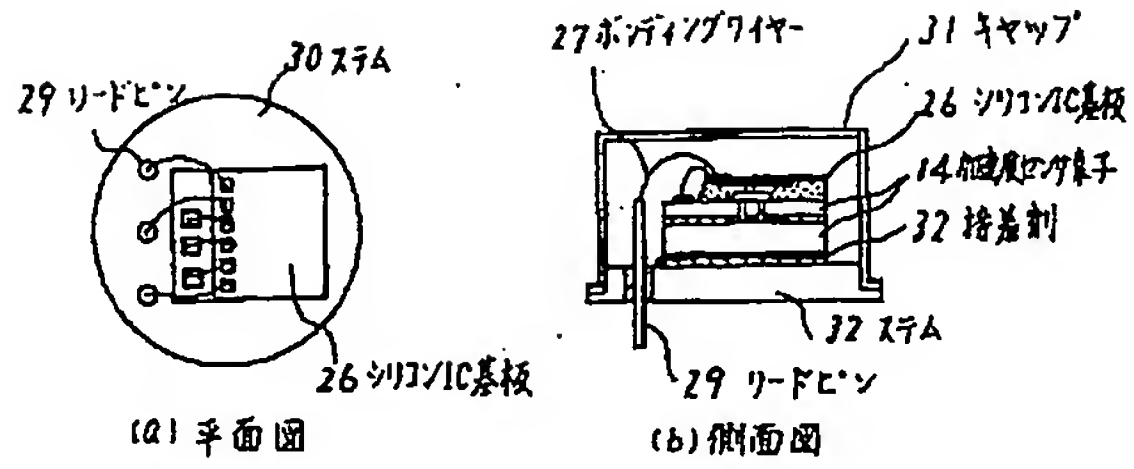


【図 10】

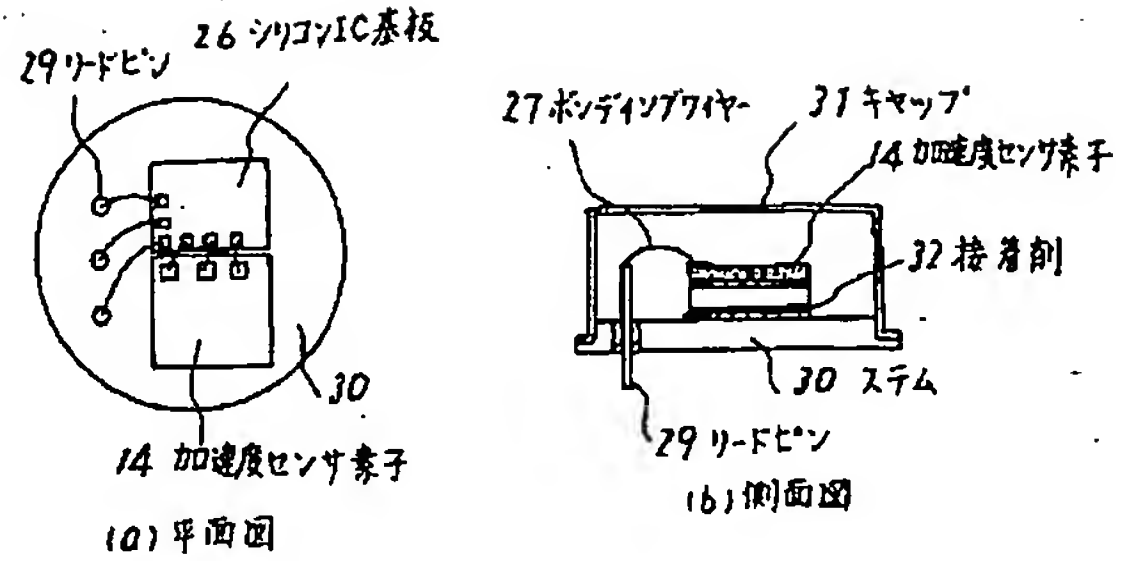
【図 3】



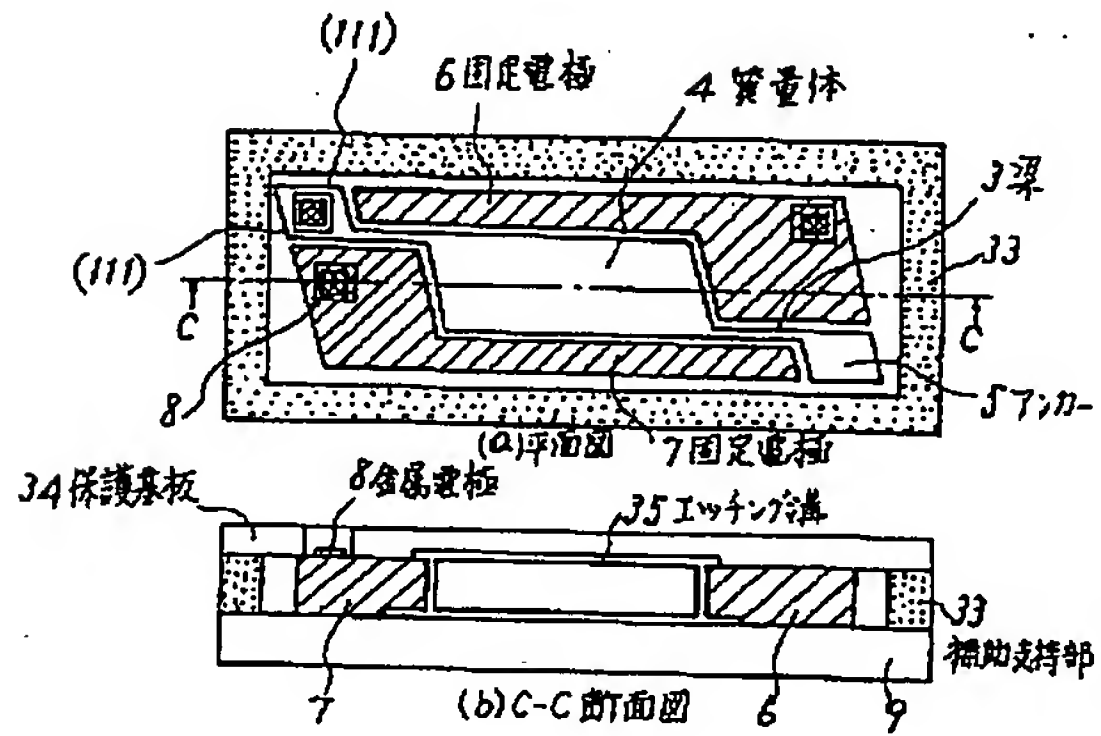
【図6】



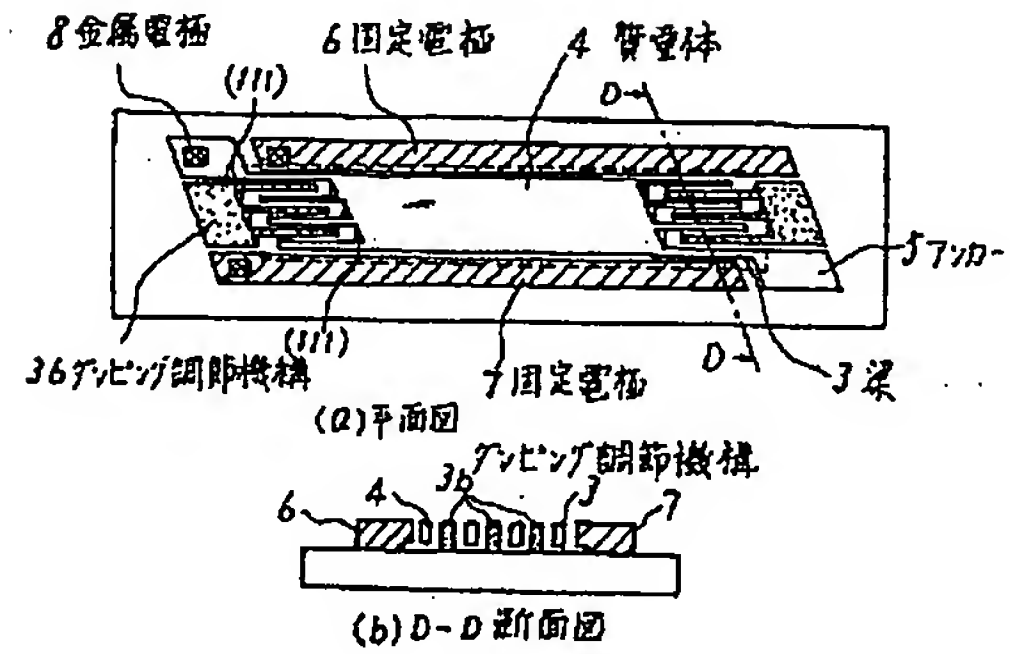
【図7】



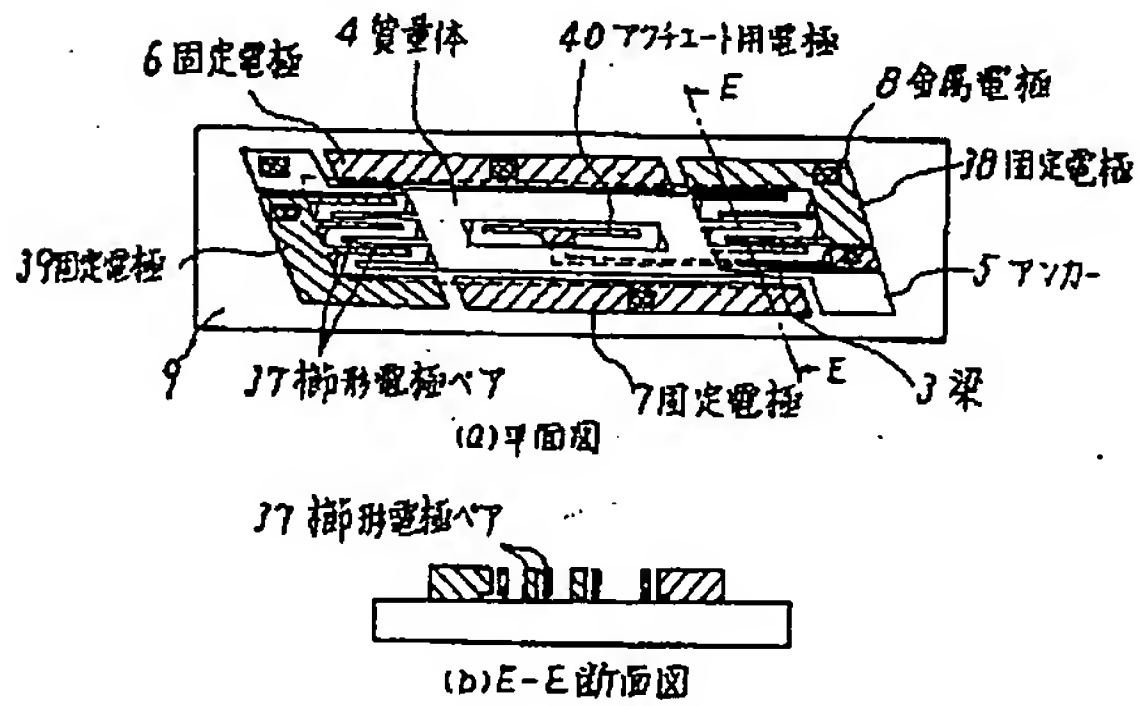
【図8】



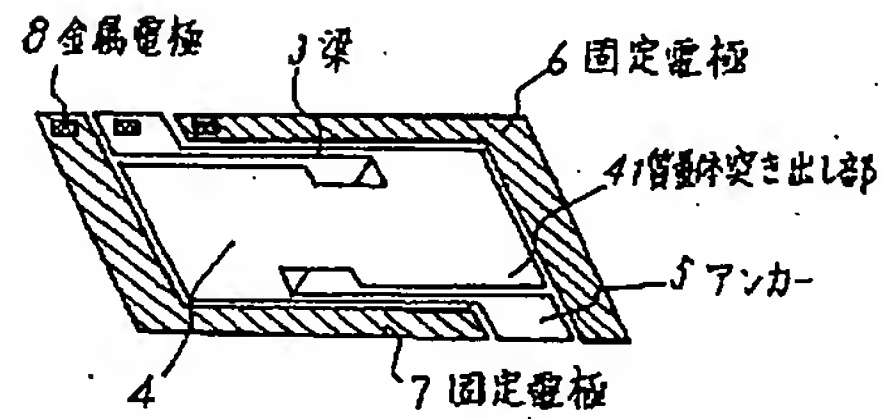
【図9】



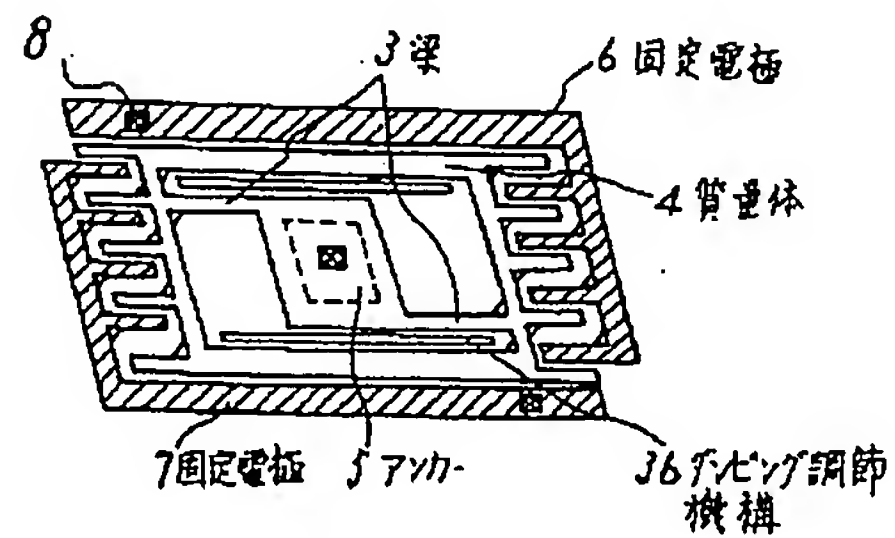
【図11】



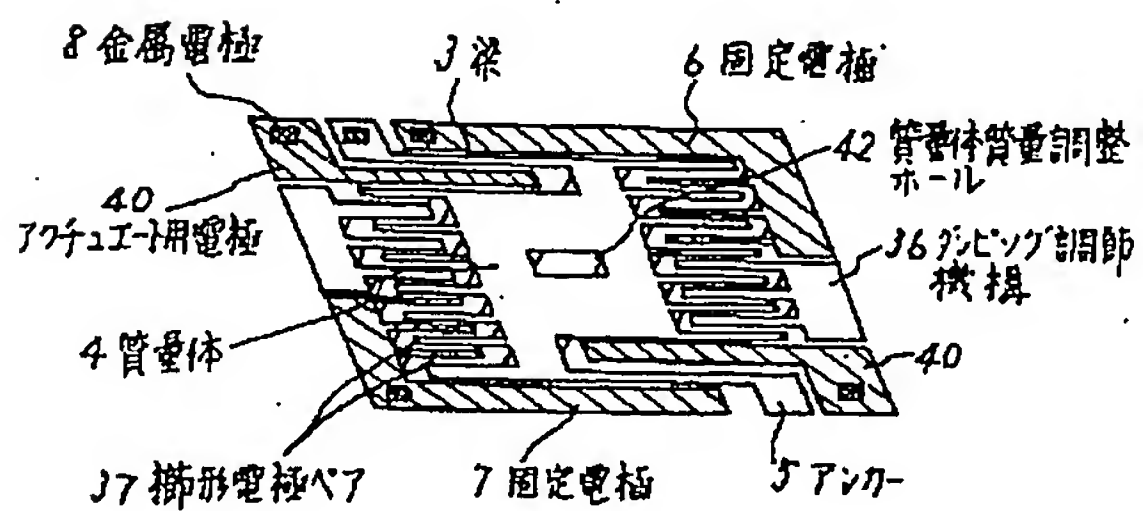
【図12】



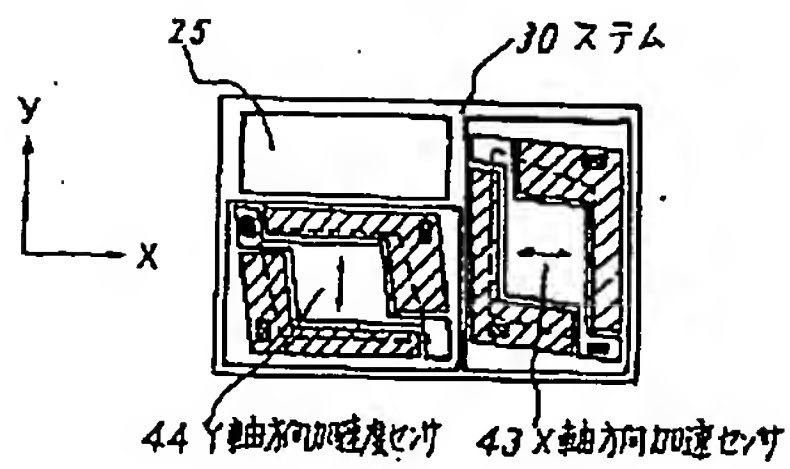
【図14】



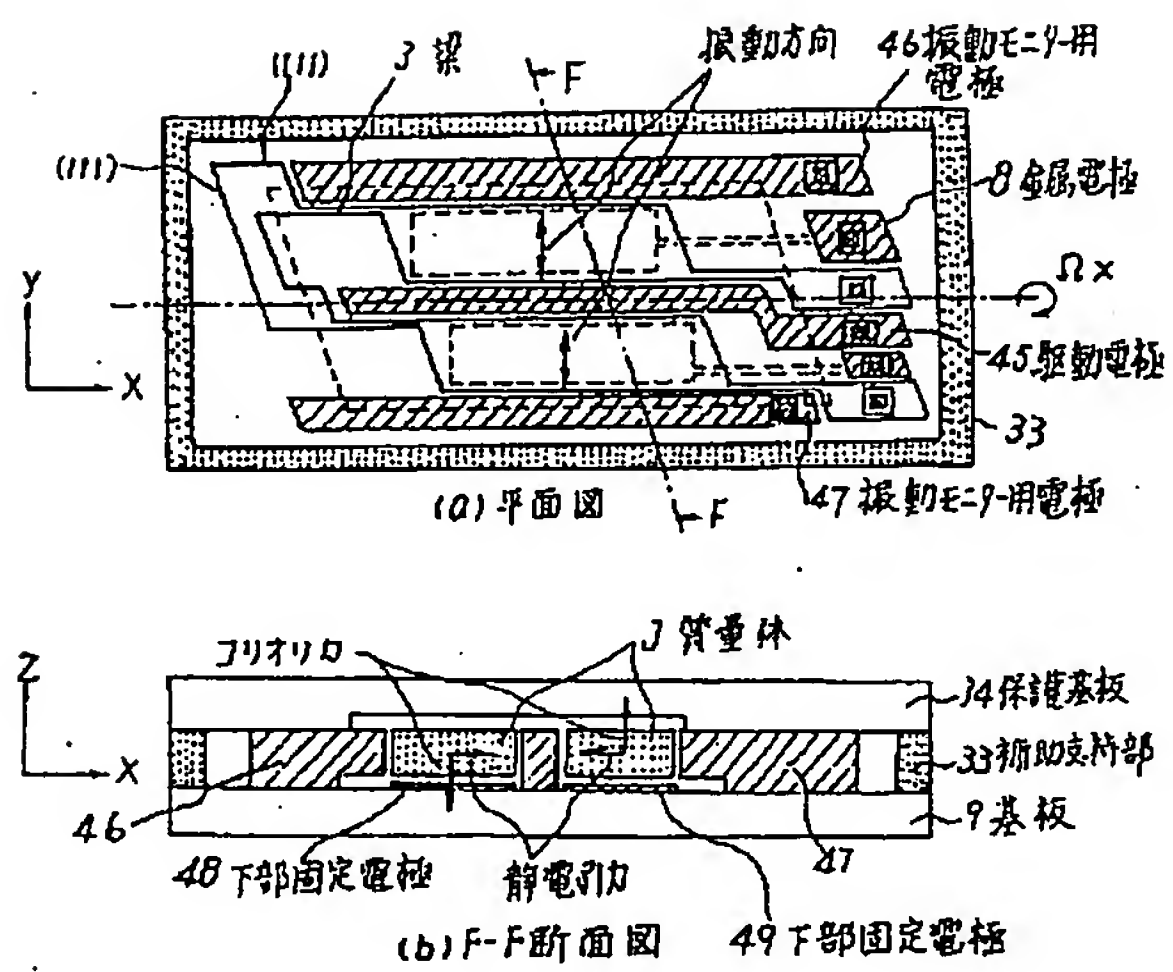
【図13】



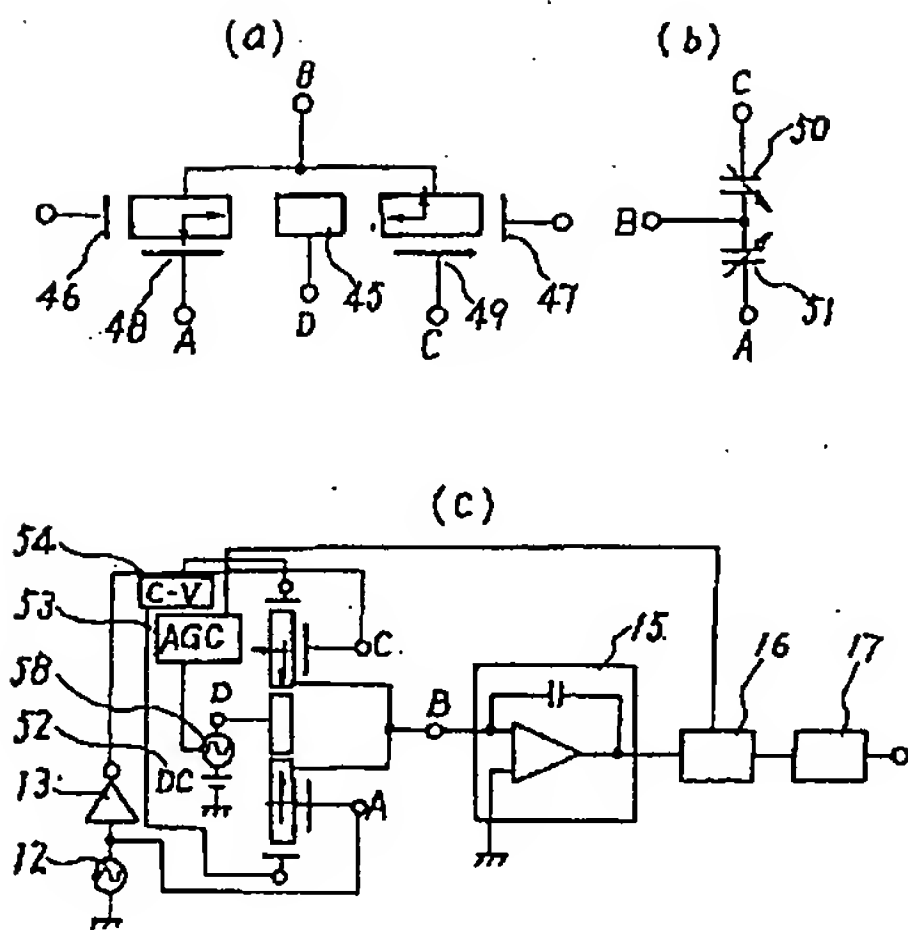
【図15】



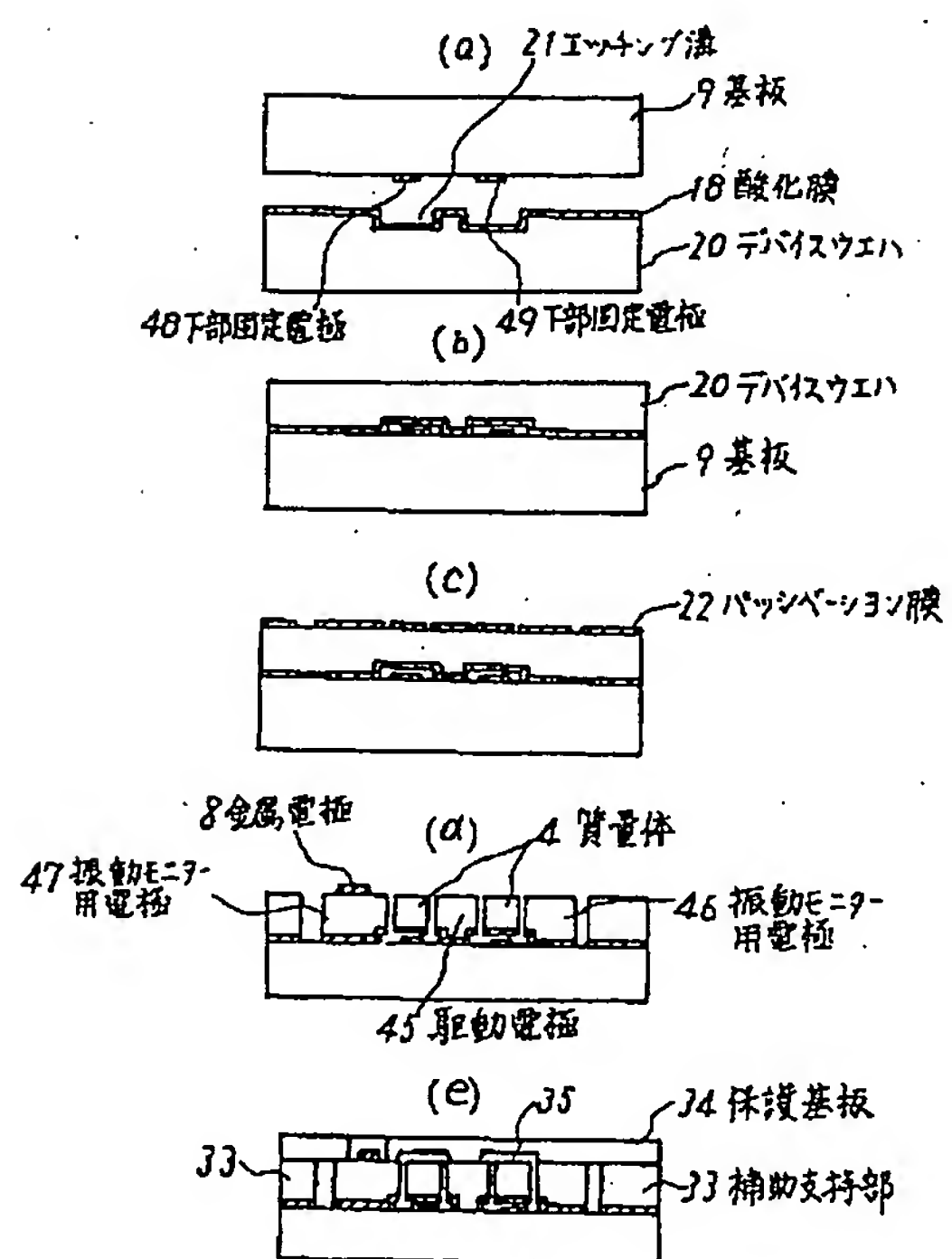
【図16】



【図17】



【図18】



【図19】

